المملكة العربية السعودية
جامعة أم القرى
كلية التربية — قسم الفيزياء

دراسات على الترمومتر البلاتيني

اعداد الطالب
ياسر عبدالله شاووش

باشراف
د . زكريا الحاج علي

١٤٠٢ـ ١٤٠٣هـ

بسم الله الرحمن الرحيم

" كلمة شكر "

الى كل من ساهم وساعد فى اعداد هذا البحث من
أعضاء هيئة تدريس وفنيين واداريين وأخص
بالشكر استاذى الدكتور/ زكريا الحاج على الذى لم
يدخر جهدا فى اظهار هذا البحث بهذه الصورة
سائلا المولى التوفيق والسداد .

المحتـــــــويات

الغرض من حلقة البحث:

تهدف هذه الحلقة الى تقديم عرض موجز عن الترمومتر البلاتينى ودراسة بعض خصائصه سعيا لاكتساب مهارات فى القياسات الدقيقة وتحقيق بعض النقط العيارية طبقا للمواصفات الحديثة .

مقاييس درجة الحرارة Temperature Scales[1]

١ ـ ١ مقياس درجة الحرارة :

من المعلوم انه لابد من وضع مقياس لقياس أى مقدار فيزيائى وعلى سبيل المثال اذا أردنا قياس طول معين فاننا نستخدم مقياسا مقسما الى اجزاء متساوية كالمتر المقسم الى مليمترات وبالمثل فاننا نحتاج الى مقياس لقياس درجة الحرارة ولكن لايكون الأمر سهلا لوضع تدرجات لدرجات الحرارة كما هو الحال بالنسبة لتدرجات مقياس الطول ٠

لو اخترنا مقياس سلزيوس Celsius Scale[2] (المقياس المئوى) لدرجات الحرارة وحددنا الصفر لدرجة حرارة تجمد الجليد (انصهار الجليد) و ١٠٠ درجة سلزيوس لنقطة غليان الماء تحت ضغط جوى عيارى فكيف يمكننا وضع تدرجات بين وخارج مدى هاتين الدرجتين للحرارة ؟ والمقياس المألوف لنا هو التدرجات للترمومتر الزئبقى حيث أن التدرجات المتتالية على الساق تشير فى الحالات المثالية الى احجام متساوية من الزئبق ولكن لايوجد تبرير نظرى لمعادلة هذه الأحجام المتساوية بتدرجات متساوية لدرجات الحرارة ٠ بل من المشاهد أن ترمومترين مصنوعين من زجاج مختلف يتفقان فى القراءة عند صفر سلزيوس و ١٠٠ درجة سلزيوس ولكنهما لايتفقان بالضرورة فى القراءات عند درجات الحرارة الأخرى ٠ فالتمدد النسبى بين الزئبق والزجاج لايتناسب طرديا مع درجة الحرارة ولكن شكل المنحنى يختلف باختلاف نوع الزجاج المستعمل لصنع الترمومتر الزئبقى ٠

١ ـ ٢ المقياس المطلق لدرجة الحرارة :

اذا حصلنا على مول من غاز تنطبق عليه العلاقة التالية تحت جميع الظروف

$$PV = RT$$

حيث P الضغط، V الحجم ، R ثابت الغاز ، T درجة الحرارة على مقياس هذا الغاز المثالي ، فيتم تعيين درجة الحرارة بقياس الضغط عند ثبات الحجم أو قياس الحجم عند ثبات الضغط . وبما أنه لايوجد غاز مثالي فمن الممكن اجراء القياسات على غاز عادى مع الأخذ فى الاعتبار الانحراف عن المثالية ونحصل على درجة الحرارة التى تكون عندها P أو V مساوية للصفر ودرجة الحرارة هذه هى (ـ ١٥و٢٧٣ ± ١٠و٠) درجة سلزيوس .

ومفهوم آخر لهذا المقياس المطلق هو مقياس الديناميكا الحرارية الذى ادخله كلفن Kelvin حيث عرف النسبة بين درجتى الحرارة التى تعمل بينهما آلة حرارية مثالية على دورة كارنو بأنها مساوية للنسبة بين مقدار الحرارة الممتصة Q_A ومقدار الحرارة المردودة Q_R أى أن :

$$\frac{T}{T_o} = \frac{Q_A}{Q_R}$$

حيث T هى درجة حرارة المستودع الذى يزود الآلة بالحرارة Q_A ، T_o هى درجة حرارة المستودع الذى تلفظ فيه الحرارة Q_R وباختيار T_o مساوية للنقطة الثلاثية للماء نحصل على

$$T = 273.16 \frac{Q_A}{Q_R}$$

ومقياس الديناميكا الحرارية أو مقياس كلفن مطابق لمقياس الغاز المثالي ويرتبط بمقياس سلزيوس بالعلاقة التالية :

$$T = t + 273.15$$

حيث T هى درجة الحرارة على المقياس المطلق ووحدتها كلفن ويرمز لها بالرمز ك و t درجة الحرارة على مقياس سلزيوس ووحدتها درجة سلزيوس ويرمز لها بالرمز °س .

ومما يجدر ذكره انه فى بادئ الامر لايوجد اتفاق دولى على الرقم ١٥و٢٧٣ حيث تستخدم بعض الاقطار كالولايات المتحدة الأمريكية الرقم ١٦و٢٧٣

ولكن فى عام ١٩٥٤ حسم المكتب الدولى للمقاييس والأوزان الامر باختيار الرقم ٢٧٣،١٥ بل حقيقة باختيار درجة حرارة النقطة الثلاثية للماء ٢٧٣،١٦ ك وتزيد درجة حرارتها بمقدار ٠،٠١ °س على درجة انصهار الجليد . وبعد تثبيت النقطة الثلاثية للماء فان الترمومتر الغازى اظهر أن نقطة غليان الماء (١٠٠ ± ٠،٠٠٤) °س .

وهناك طرق اخرى متعددة لقياس درجة الحرارة على المقياس المطلق لعل اهمها الطريقة التى تستخدم الاشعاع الحرارى الصادر من الجسم الأسود لوضع مقياس لدرجات الحرارة المرتفعة .

١–٣ المقياس العملى الدولى لدرجات الحرارة :

The International Practical Scale of Temperature[3,4,5]

يستخدم مقياس كلفن للحسابات النظرية فى الفيزياء الحرارية على الرغم من ان دقة النقطة الأساسية لهذا المقياس لا تتعدى ١ فى ٢٧٠٠٠ الا أن ذلك يفى بالغرض لمثل تلك الحسابات النظرية .

ومن جهة أخرى فاننا نستطيع أن نحدد الفرق فى درجات الحرارة بين النقطة الثلاثية للماء ونقطة غليان الماء بدقة ١ فى ١٠٠٠٠٠ وعليه فانه فى الحالات التى يفضل فيها تكرار القيمة على الدقة المطلقة كما هو الحال بالنسبة للدراسات فى الارصادات الجوية على سبيل المثال فانه من المستحسن تعريف حجم الدرجة على أساس هذا الفرق وطبق هذا المبدأ عند وضع المقياس العملى الدولى لدرجات الحرارة فى عام ١٩٢٧ بغرض ايجاد مقياس دقيق متكرر مطابق بقدر المستطاع للمقياس المطلق الذى كان يعرف حدئذ بدلالة نقطة انصهار الجليد ونقطة غليان الماء .

والحاجة ماسة الى مثل هذا المقياس العملى حيث أن تحقيق المقياس المطلق بواسطة الترمومتر الغازى يتطلب عناءا كبيرا فالترمومتر الغازى غير ملائم وشديد التعقيد ولاتكرر قراءاته بالمستوى الجيد كما هو الحال مع الترمومتر البلاتينى على سبيل المثال ولكن بالطبع لايمكن استخدام الترمومتر البلاتينى لتحقيق المقياس المطلق .

القياسات على المقياس العملى الدولى تكرر بصورة مرضية ويمكن مقارنتها بالمقياس المطلق بفضل الجهود الكبيرة التى تبذلها المعامل المتخصصة لتحديد العلاقة بين المقياسين بدقة عالية . ومهما يكن نوع تلك العلاقة فمن الواضح أن كل الباحثين والمهتمين بأمر قياس درجة الحرارة على المقياس العملى يعطون نفس الرقم لدرجة حرارة معينة واذا حدث تفاوت فان ذلك يكون فى أضيق الحدود .

المقياس العملى الدولى يحدد عددا من النقط العيارية أو الثابتة Fixed points عادة نقط التجمد Freezing points ونقط الغليان boiling points وتعطى لهذه النقط قيما مبنية على افضل النتائج التى تم التوصل اليها بالترمومتر الغازى ثم يحدد الترمومترات المستخدمة فى قياس درجات الحرارة على هذا المقياس وهى الترمومتر البلاتينى والازدواج الحرارى والبيرومتر الضوئى وأخيرا يحدد المعادلات الرياضية التى تستخدم فى حساب درجات الحرارة من قراءة هذه الترمومترات .

وعندما طور المقياس العملى الدولى فى عام ١٩٤٨ تم اعتماد النقط العيارية التالية ودرجات الحرارة المعطاة لها :

نقطة غليان الاكسجين ـــ ١٨٢و٩٧ °س تحت ضغط جوى عيارى

النقطة الثلاثية للماء ٠و٠١ °س

نقطة غليان الماء	١٠٠ °س	تحت ضغط جوى عيارى
نقطة غليان الكبريت	٦و٤٤٤ °س	" " " "
نقطة تجمد الفضة	٨و٩٦٠ °س	" " " "
نقطة تجمد الذهب	١٠٦٣ °س	" " " "

فى عام ١٩٦٠ صدرت توصيات ببعض التحسينات الفنية من بينها استخدام نقطة تجمد الخارصين Zinc freezing point عند ٥٠٥و٤١٩ °س كنقطة بديلة لنقطة غليان الكبريت وذلك لتكرار قيمتها بصورة أفضل ٠

وفى مدى درجات الحرارة المرتفعة تتسع الشقة بين دقة القياس على المقياس المطلق وتكرار القيمة فمثلا أن دقة قياس نقطة تجمد الذهب لاتتعدى ± ٥و٠ °س بينما تكرار هذه النقطة افضل من ± ١٠و٠ °س ، طبقا لترمومتر المقاومة ٠

فى عام ١٩٦٤ اعدت اللجنة الاستشارية المنبثقة من المكتب الدولى للمقاييس والأوزان رسما بيانيا [6] يوضح الفرق المحتمل بين المقياس المطلق والمقياس الدولى ويمكن استخلاص الجدول ادناه من ذلك الرسم البيانى علما بأن الأرقام بالجدول تعتبر مبدئية وخاضعة للتنقيح ٠

درجة الحرارة المطلقة °س	الفرق بين درجة الحرارة على المقياس المطلق ودرجة الحرارة على المقياس العملى الدولى (درجة)
— ١٨٣	— ١٠و٠
— ١٥٠	— ٣٠و٠
— ٨٠	+ ٣٠و٠
صفر	صفر
+ ٢٠٠	+ ٣٠و٠
+ ٤٠٠	+ ٧٠و٠
+ ٦٠٠	+ ١و٠

+ ٨٠٠	+ ٩و٠
+ ٩٦٠	+ ١و١
+ ١٠٦٣	+ ٤و١

وظل الترمومتر البلاتينى العيارى يستخدم لقياس درجة الحرارة فـــى المدى من -١٨٢و٩٧°س الى ٥و٦٣٠°س والازدواج الحرارى العيـــارى المكون من سلكين احدهما من البلاتين والآخر سبيكة من البلاتين و ١٠٪ روديوم من ٥و٦٣٠ °س الى ١٠٦٣°س والبيرومتر الضوئى من ١٠٦٣°س الى مالانهاية نظريا وذلك باستخدام قانون بلانك للاشعاع Planck's radiation law حيث أن قيمة الثابت c_2 هى ١٤٣٨٠و٠ متر °س^-١ ٠

وفى آخر تطور للمقياس العملى الدولى فى عام ١٩٦٨ (7) أدخلت بعض التحسينات لعل من أبرزها اضافة نقط معايرة جديدة واعطاء قيم بعض النقاط الثابتة على مقياس كلفن وتوسيع مدى الترمومتر البلاتينى حتى النقطة الثلاثية للهيدروجين ٠

وأظهرت بعض الدراسات اللاحقة (8) امكانية توسيع مدى الترمومتر البلاتينى حتى ٥ ك على الرغم من أن حساسيته تقل كثيرا عند هذه الدرجات المنخفضة ٠

ويوضح الجدول التالى نقط المعايرة فى المدى من ٨١و١٣ ك الى ١٥و٣٧٣ك طبقا للمقياس العملى الدولى لعام ١٩٦٨م ٠

النقطة الثابتة		درجة الحرارة بالكلفن
النقطة الثلاثية للهايدروجين		١٣و٨١
نقطة غليان الهايدروجين تحت ضغط	33330.6 Pa	١٧و٠٤٢
نقطة غليان الهايدروجين تحت ضغط	101325 Pa	٢٠و٢٨
نقطة غليان النيون neon تحت ضغط	101325 Pa	٢٧و١٠٢
النقطة الثلاثية للأكسجين		٥٤و٣٦١
نقطة غليان الاكسجين تحت ضغط	101325 Pa	٩٠و١٨٨
النقطة الثلاثية للماء		٢٧٣و١٦
نقطة غليان الماء تحت ضغط	101325 Pa	٣٧٣و١٥

ومن المعلوم أن المقياس العملى الدولى لايمتد الى درجات حرارة تقل عن ١٣و٨١ ك ولكن توجد مقاييس متداولة اشهرها مقاييس ضغط البخار المشبع Saturated Vapour Pressure/Temperature Scales[9,10] للهيليوم ٤ He^4 والهيليوم ٣ He^3 فى مدى درجات الحرارة من ٥و٢ ك الى ٠و٥ ك ومن ٣و٤ ك الى ٠و٢ ك على التوالى .

كما يستخدم ترمومتر مقاومة الجيرمنيوم Germanium Resistance Thermometer من ٢٠ ك الى ٤ ك . وهناك جهود مبذولة لتطوير الترمومتر الصوتى Acoustical thermometer[11] بهدف تحقيق المقياس المطلق .

الترمومتر البلاتيني العياري
The Standard Platinum Resistance Thermometer [1)]

٢ـ١ معايرة الترمومتر البلاتيني:

تصنع ترمومترات المقاومة عادة من البلاتين أو النيكل nickel الا انه يجب صنع الترمومتر من البلاتين النقي لقياس درجة الحرارة على المقياس العملي الدولي في المدى من ١٣٫٨١ ك الى نقطة تجمد الانتيمون (٦٣٠٫٥ °س) ·

تتغير مقاومة البلاتين في مدى درجات الحرارة من صفر سلزيوس الى ١٠٦٣ °س طبقا للمعادلة التالية :

$$R_t = R_o(1 + At + Bt^2) \quad .... \quad (1)$$

حيث R_t هي المقاومة عند درجة الحرارة t ، R_o المقاومة عند درجة الحرارة صفر سلزيوس و B, A ثابتان · وبعد معايرة الترمومتر عند النقطة الثلاثية للماء (٠٫٠١ °س) ونقطة غليان الكبريت (٤٤٤٫٦ °س) أو نقطة تجمد الخارصين "Zinc" (٤١٩٫٥٠٥ °س) ونقطة غليان الماء (١٠٠ °س) أو نقطة تجمد القصدير · يمكن استخدام العلاقة (١) لتعيين درجة الحرارة من صفر سلزيوس الى نقطة تجمد الذهب (١٠٦٣ °س) بانحراف لايتعدى درجتين عن المقياس المطلق ولكن بالنسبة للمقياس العملي الدولي يقتصر استخدام العلاقة (١) على مدى درجات الحرارة من صفر سلزيوس الى ٦٣٠٫٥ °س وهي درجة تجمد الانتيمون حيث لايتعدى الخطأ ٠٫١ درجة على الأرجح · الجدير بالذكر أن نقطة تجمد الانتيمون لاتعتبر نقطة ثابتة اساسية ولكنها تمثل حلقة الوصل بين مقياس المقاومة ومقياس الازدواج الحراري ·

أما بالنسبة لدرجات الحرارة من صفر سلزيوس الى نقطة غليان الاكسجين (ـ١٨٢,٩٧°س) فاستخدمت العلاقة التالية للمقياس العملي الدولي عام ١٩٤٨م :

$$R_t = R_o \quad 1 + At + Bt^2 + C(t-100)t^3 \qquad \ldots\ldots\ldots (2)$$

ولايتعدى الخطأ في هذه العلاقة ± ٠٤ر٠ درجة وبمعايرة الترمومتر عند نقطة غليان الاكسجين نحصل على قيمة الثابت C ٠

أما في المقياس الدولي لعام ١٩٦٨ [7] فقد عدل عن استخدام هذه العلاقة واستعيض عنها بأربع معادلات تصلح كل منها لمدى محدد لدرجات الحرارة ٠ المعادلة الأولى للمدى من ٩٠ر١٨٨ ك الى ١٥ر٢٧٣ ك والثانية من ٥٤ر٣٦١ ك الى ٩٠ر١٨٨ ك والثالثة من ٢٠ر٢٨ك الى ٥٤ر٣٦١ ك والرابعة من ٨١ر١٣ ك الى ٢٠ر٢٨ ك ٠

٢ـ٢ مقياس الترمومتر البلاتيني:

يمكن كتابة المعادلة (١) بالصورة التالية التى اقترحها كالندر Callendar وذلك تسهيلا للعمليات الحسابية :

$$t - t_{pt} = \delta . t\ (t-100)10^{-4} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

حيث t_{pt} هى درجة الحرارة على المقياس البلاتيني ويمكن الحصول عليها بافتراض علاقة طردية بين المقاومة ودرجة الحرارة أى أن :

$$t_{pt} = \frac{100(R_t - R_o)}{R_{100} - R_o} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

حيث R_t هى المقاومة عند درجة الحرارة t ، R_o المقاومة عند نقطة انصهار الجليد (صفر سلزيوس) و R_{100} المقاومة عند نقطة غليان الماء (١٠٠°س) ٠

وفى حالة البلاتيــن النقى : $\delta \simeq 1.492$ وتسمى δ معامل الفرق

$$\frac{R_{100}}{R_o} \simeq 1.3926$$

كما يمكن كتابة المعادلة (2) بالصورة التالية :

$$t - t_{pt} = \delta . t(t-100)10^{-4} + \beta . t^3(t-100)10^{-8} \quad .... \quad (5)$$

حيث قيمة الثابت β هى $\beta = 0.11$

علما بأن وجود الشوائب فى سلك البلاتين أو التوترات الناشئة من عــــدم معالجــة السلك معالجــة حرارية تامة Imperfect annealing يؤدى الى نقصان النسبة $\frac{R_{100}}{R_o}$ وزيادة قيمة δ. هذا وقد سمحت مواصفـــات المقياس الدولــى فى عام ١٩٦٠ باستخدام الترمومترات البلاتينية التى لا تقل فيها النسبة $\frac{R_{100}}{R_o}$ عن ١٫٣٩٢٠ وبما أن كل الدلائل تشير الــى أن أدنــى قيمة لهذه النسبة فى حالة خلو البلاتين من الشوائب والتوترات هــى نحو ١٫٣٩٢٩ فقد رفع المكتب الدولى للمقاييس والأوزان الحد الأدنـــى المسموح به الــى $\frac{R_{100}}{R_o} = 1.39250$ فى عام ١٩٦٨م .

٢ـ٣ تعيين درجة الحرارة بالترمومتر البلاتينى:

يتم تعيين درجــة الحرارة بالترمومــتر البلاتيــنى على النحو التالى :

يعاير الترمومتر عند النقط الثابتة ولتكن على سبيل المثال :

$$R_o = 25.76428\ \Omega$$
$$R_{100} = 35.87576\ \Omega$$
$$R_{444.6} = 68.4070\ \Omega$$
$$R_{-182.7} = 6.2891\ \Omega$$

ويتضح من هذا المثال أن :

$$\frac{R_{100}}{R_o} = 1.392461$$

$$R_{100} - R_o = 10.11148\ \Omega$$

ومن المعادلـــة (4)

$$t_{pt} = \frac{100(68.4070 - 25.76428)}{10.11148} = 421.726\ ^{o}P_t$$

ومن المعادلة (3)

$$444.600 - 421.726 = \delta\,(444.6)(344.6)\ 10^{-4}$$

نحصل علـــى

$$\delta = 1.4930$$

وبنفس الطريقـة نجد أن :

$$-182.97\ ^{o}C = -192.605\ ^{o}P_t$$

ومن المعادلة (5) نحصل على :

$$\beta = 0.1099$$

وبمعايرة الترمومـتر استطعنا ايجاد قيمة الثوابت •

ولنفرض أن مقاومة الترمومتر عند درجة الحرارة t هى $R_t = 57.5624\ \Omega$

ويتم تعيين t على مقياس سلزيوس باتباع الخطوات التالية :

نحسب t_{pt} بنفس الطريقة التى حصلنا بها على قيمة δ فنجد

$$t_{pt} = 314.457\ ^{o}P_t$$

ثم نرجـع الى جداول[12] منشورة تحتوى على درجة الحرارة على مقياس سلزيـوس المقابلة الى t_{pt} محسوبة عادة على أساس أن $\delta = 1.5$ وباجراء تصحيـــح مناسب يأخذ فى الاعتبـار اختلاف قيمة δ عن ١و٥ نحصل على درجـــة الحرارة بدقة تفى لمعظم الأغراض •

أما اذا رغبنــا فى مستوى أعلــى من الدقـة فلابد من اللجوء الى طريقـــــة التقريبات المتتالية • بالرجوع الى الجداول المشار اليها نجد أن

t_{pt}	$t-t_{pt}$
$300^{o}\ P_t$	9.8
320	11.5

وعليـــه فان :

$$314.457^{o}P_t \simeq 325.5\ ^{o}C$$

وفي حالة عدم الاكتفاء بهذه الدقة نلجأ الى طريقـة التقريبات المتتاليـة كما ذكر من قبل وذلك بالتعويض في المعادلة رقم (3) :

$$t-314.57 = 1.4930(3.255)(2.255) = 10.959$$

ونحصل على

$$t = 325.416\ ^{o}C$$

وباجراء تقريب ثان :

$$t-314.457 = 1.4930(3.25416)(2.25416) = 10.952$$

نحصل علـــى

$$t = 325.409\ ^{o}C$$

ونتيجـة التقريب الثالث هي

$$t = 325.408\ ^{o}C$$

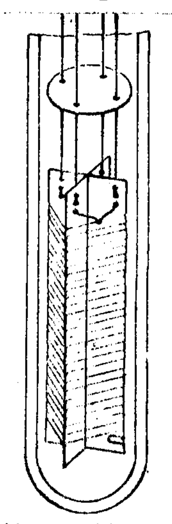
والتقريب الرابـــع لايحدث تغييرا في الكسر العشرى الثالث وهكذا نحصل علـــى قيمـة $t=325.408\ ^{o}C$ بدقة عالية .

و لعله من الرغوب فيه اصدار جداول تحتوى على درجات الحرارة المقابلة الـى $W(T) = \frac{R(T)}{R_o}$ لتخفيف العبء الحسابي .

٢ــ٤ وصف الترمومتر البلاتيني :

الترمومتر البلاتيني كثير الاستعمال في الأغراض العلمية التي تتطلب دقة عالية فمن الضروري أن يكون سلك المقاومة من البلاتين النقي وخـــال مـــن التوترات واذا تحقق ذلك فان المقاومة عند نقطة انصهار الجليد تظل ثابتـــة لعدة سنوات واذا طرأ تغيير في قيمتها بسبب تعرض الترمومتر الى اهتزازات كبيرة فيمكن معالجـة ذلك حراريـا . وتصميم كالندر للترمومتر البلاتيني الخالـي من التوترات موضح في الشكل (١) . فهو يتكون من سلك رفيع من البلاتيـــن

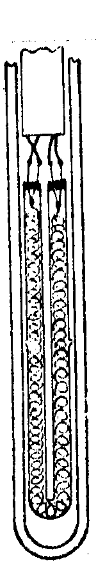
النقى ملفوف بحذر حول اطار من الميكا العازلة ويتصل طرفا السلك البلاتينى بسلكين من البلاتين الغليظ ويوضع فى انبوبة من الخزف أو السليكا المنصهرة ويعزل سلكا التوصيل عن بعضهما بمرورهما خلال ثقوب فى أقـراص مـن الميكا داخـل الانبوبـة ولتلافى مقاومة سلكى التوصيل يوجد داخـل الانبوبـة سلكان متشابهان متصلان مع بعضهما من اسفل ويسميان بأسلاك التعادل أو التعويض compensating leads .



شكل (١) : تصميم كالندر للترمومتر البلاتينى

وأجريت بعض التحسينات على تصميم الترمومتر لعل من أهمها الطريقـة التى استحدثها باربر Barber[13] والموضحـة بالشكل (٢) . السـلك البلاتينى ملفوف على لولب من الزجاج ويتصل طرفا السلك البلاتينى بأربـع اسلاك من الذهب وتتصل اسلاك التوصيل بأربعة اطراف كهربية تتصـل بعد ذلك بأسلاك نحاس لتوصيل الترمومتر بجهاز قياس المقاومة .

وطريقة باربـر تؤمن عـدم وجـود توترات فى سلك المقاومـة البلاتيـنى بالاضـافة الى انها تزيـل أى آثـار للرطوبـة وذلك بتفريـغ الجهاز وتمريـر هواء ناشـف بصـورة متعاقبـة ومتكـررة وأهميـة



شكل (٢) : تصميم باربر للترمومتر البلاتينى

ذلك هو عدم اضعاف العازل للسلك بواسطة تكثيف الرطوبة عليه خاصة عندما يراد استخدام الترمومتر لقياس درجات الحرارة المنخفضة .

وفى التصميمات الحديثة للترمومتر البلاتينى عنى بأمر تحسين التبادل الحرارى بين المقاومة والوسط المحيط بها بهدف تقليل ثابت التأخير Lag constant[14] والحد من التأثيرات الناجمة عن تسخين الترمومتر بواسطة التيار الذى يسرى فيه وعمق انغماس الترمومتر . هذا ويمكن التخلص من تأثير تسخين التيار للترمومتر بقياس المقاومة عند امرار تيارات مختلفة ثم رسم شكل بيانى بين المقاومة ومربع التيار ومد المنحنى الى تيار قيمته صفر .

وتوجد تصميمات خاصة للترمومترات البلاتينية التى تستخدم عند درجات حرارة مرتفعة جدا أو منخفضة جدا . وبالنسبة لدرجات الحرارة المرتفعة جدا فلابد من الاخذ فى الاعتبار تبخر البلاتين والتسرب الكهربى Electrical leakage عبر مرتكزات سلك البلاتين ويمكن تقليل أثريهما

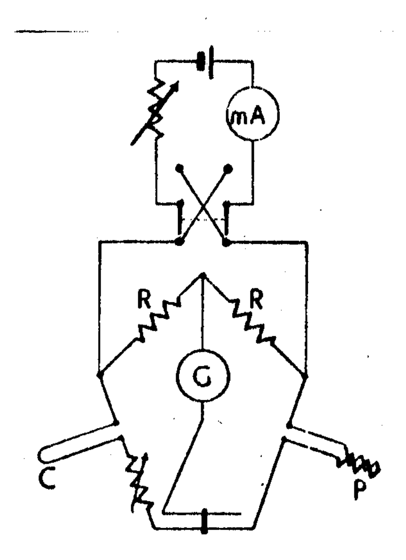
باستخدام سلك غليظ نسبيا ولكن تكون عندئذ مقاومة الترمومتر صغيرة . وعند درجات حرارة تقل عن ١٠٠٠ °س يتم العزل بالكوارتز quartz أما اذا زادت درجة الحرارة عن ١٠٠٠ °س فيفضل العزل بالالومينا Alumina [15,16] لان الكوارتز ربما يؤدى الى تلوث البلاتين . وفيما يتعلق بدرجات الحرارة المنخفضة جدا فالعقبة الرئيسية هى التوصيل الحرارى عبر اسلاك توصيل الترمومتر حيث أنه من المعلوم أن السعة الحرارية صغيرة ومعامل التوصيل كبير ويمكن التغلب على هذه العقبة بوضع المقاومة فى كبسولة صغيرة من الزجاج أو البلاتين واستخدام اسلاك توصيل نحاسية رفيعة ومعزولة جيدا [17] . الجدير بالذكر أن نقاء البلاتين يصبح من الاهمية بمكان عند درجات الحرارة المنخفضة جدا نسبة لصغر المقاومة وعليه يجب أن لاتقل النسبة $\frac{R_{100}}{R_o}$ عن ١٫٣٩٢٥٠ .

٢ — ٥ طرق قياس المقاومة :

مقاومة الترمومترات البلاتينية التى تستخدم فى الاغراض العلمية تكون عادة فى حدود ٢٥ أوم عند نقطة انصهار الجليد (٢٧٣٫١٥ ك) وللحصول على درجة الحرارة بدقة فى حدود ± ٠٫٠٠١ °س عند نقطة انصهار الجليد فان ذلك يتطلب قياس المقاومة بدقة تصل الى ٤ أجزاء من المليون . والامر كذلك فلابد من ايجاد وسيلة مناسبة لقياس مقاومة سلك البلاتين بدون مقاومة اسلاك التوصيل ومقاومة التلامس contact resistance

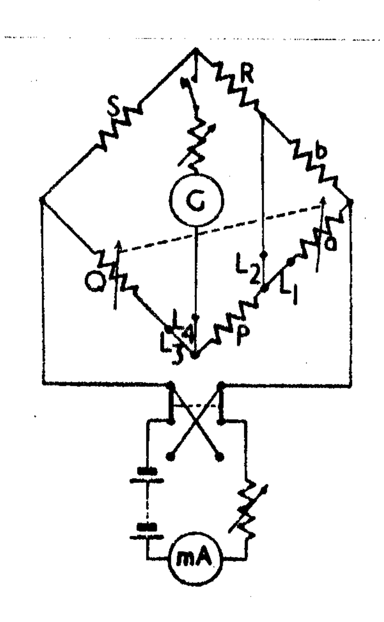
وبادخال فكرة اسلاك التعادل أو التعويض compensating leads وبتعديل قنطرة هويستون كما هو فى الشكل (٣) والذى يعرف بقنطرة كالندر جريفث Callender-Griffiths bridge تمكن كالندر من قياس مقاومة

الترمومتر دون أن يقيس مقاومة التوصيل ودون أن تتأثر نتائجه بالقوى الدافعة الكهروحرارية .

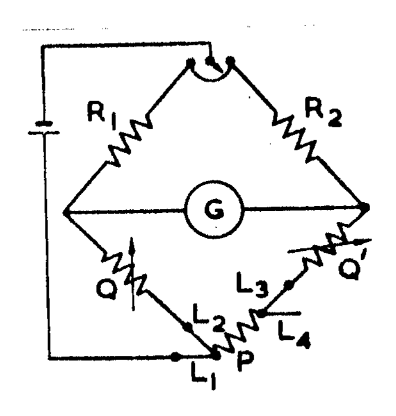


شكل (٣) : قنطرة كالندر ـ جريفث

وأفرز تطوير وتحسين قنطرة كالندر ـ جريفث عدة أنواع من القنطرات من بينها قنطرة سميث (النوع الثالث) Smith bridge, tye III [18] الموضحة في الشكل (٤) وقنطرة ميلر Mueller bridge[19] المبينة في الشكل (٥) وقنطرات حديثة [20] تستخدم التيار المتردد .

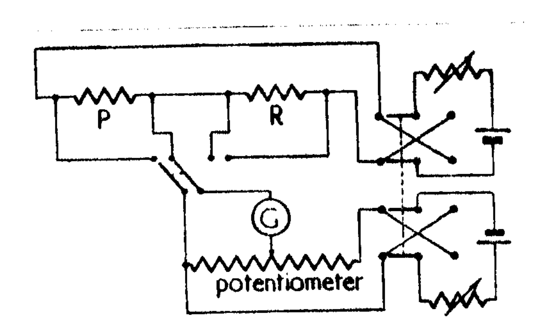


شكل (٤) : قنطرة سميث



شكل (٥) : قنطرة ميـــلر

ورغبة فى التخلص نهائيا من أثر مقاومة اسلاك التوصيل ومقاومة التـلامس والوصول الى مستوى عال من الدقة لقياس مقاومة سلك البلاتين فان الترمومـتر يزود بتوصيلات منفصلة للتيار والجهد وتوصل مقاومة الترمومتر P على التوالى مع مقاومة عيارية R تقارب قيمتها P ثم يقارن فرق الجهد بين طرفى كـل منهما بواسطة مقياس فرق الجهد Potentiometer كما هو مبين بالشكـل (٦) . وعادة تتم المقارنة بين فرقى الجهد قبل وبعد عكس اتجاه التيـار الذى يسرى فى الترمومتر لتفادى القوى الدافعة الكهروحرارية العشوائيـة . وفى الحقيقة ان تفادى هذه القوى الدافعة ليس بالامر السهل خاصة عند درجات الحرارة المرتفعة حيث لا تكون هذه القوى الدافعة ثابتة القيمة .



شكل (٦) : قياس المقاومة بواسطة مقياس فرق الجهد

٢ـ٦ الترمومترات البلاتينية للأغراض الصناعية :

لاتستخدم الترمومترات البلاتينية المعدة لتحقيق المقياس العملى الدولى للأغراض الصناعية بسبب قابليتها للكسر وعدم الحاجة لدقتها المتناهية ٠ وفى الحالات التى لايفى الازدواج الحرارى بالدقة المطلوبة فيمكن اللجوء الـــى الترمومتر البلاتينى البسيط وهو يتكون من سلك بلاتينى ملفوف حول اطار مـــن الالمنيوم أو السيراميك Ceramic former ويتصل طرفا السلك بقنطرة كالنــدر جريفث٠ وتكون مقاومة السلك عالية نسبيا (حوالى ١٠٠ أوم عند صفر سلزيوس) وذلك للحد من أثر تغيير مقاومة اسلاك التوصيل على دقة القياس المرغوب فيها ٠

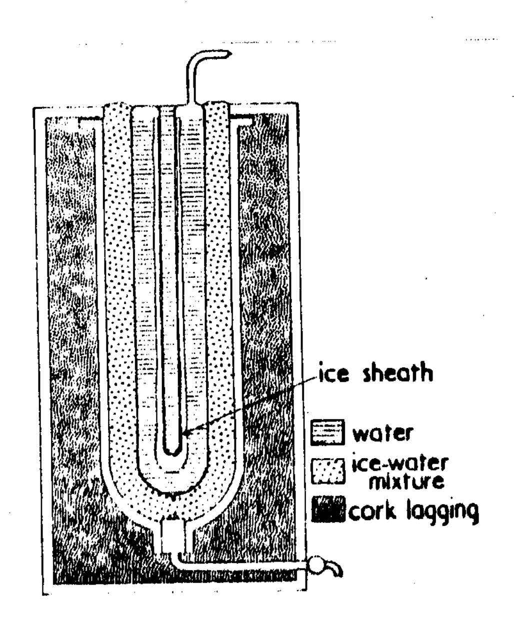
أجهزة تحقيق بعض النقط الثابتة

٣ـ١ النقطة الثلاثية للماء

النقطة الثلاثية للماء هي نقطة الاتزان بين الماء في صوره الثلاث : البخار والماء والجليد وتزيد درجة حرارة النقطة الثلاثية للماء عن درجة حرارة انصهار الجليد بمقدار ١٠و٠ °س لسببين أولهما أن الضغط على الصور الثلاثة يساوى ٦و٤ مليمتر زئبق بدلا من ٧٦٠ مم زئبق في حالة نقطة انصهار الجليد وثانيهما أن الماء المستخدم لتحقيق النقطة الثلاثية للماء خال تماما من الغازات المذابة dissolved gases فالفرق في الضغط (٧٦٠ ـ ٦و٤ = ٤و٧٥٥ مم زئبق) يقلل نقطة تجمد (انصهار) الجليد بأكثر من ٠٠٧و٠ °س ووجود الغازات المذابة يقللها بأكثر من ٠٠٢و٠ °س ومحصلة هذين العاملين تؤدى الى فرق في درجة الحرارة بين النقطة الثلاثية للماء ونقطة تجمد الجليد مقداره (+٠٠٧و٠ °س + +٠٠٢و٠ °س)=٠١و٠ °س. النقطة الثلاثية للماء تتكرر بصورة افضل من نقطة تجمد الجليد ولذا فقد اتخذت كنقطة اساسية على كل من مقياس سلزيوس والمقياس المطلق بدلا من نقطة تجمد الجليد .

وصمم المكتب الوطني للمعايير National Bureau of Standards (N.B.S.) الجهاز الموضح بالشكل (٧) لتحقيق النقطة الثلاثية للماء . فالخلية Cell المصنوعة من الزجاج القوى تنظف جيدا وتملأ بالماء المقطر وتغلق بعد تفريغها من الهواء .

وعندما يراد استخدام الجهاز لتحقيق النقطة الثلاثية للماء تغمر الخلية في الجليد لعدة ساعات حتى تقترب درجة حرارتها من الصفر سلزيوس ثم تبرد بثاني اكسيد الكربون المتجمد حتى تتكون طبقة من الجليد



شكل (٧) : جهاز تحقيق النقطة الثلاثية للماء

سمكها بضع مليمترات ويزال ثانى اكسيد الكربون وتملأ انبوبة الترمومتر بماء فى درجة حرارة الغرفة وعندما تتكون طبقة خفيفة من الماء بين الانبوبة وطبقة الجليد توضع الخلية فى الجليد ويستبدل الماء فى انبوبة الترمومتر بماء فى درجة الصفر وتترك الخلية فى الجليد لمدة يوم أو نحو ذلك وتكون الخلية عندئذ جاهزة لتحقيق النقطة الثلاثية للماء .

٣ـ٢ نقطة تجمد الجليد

نقطة تجمد (انصهار) الجليد هى درجة حرارة الاتزان بين الماء فى الصورة الصلبة والصورة السائلة تحت ضغط زئبقى ٧٦٠ مليمتر .

وتستخدم نقطة تجمد الجليد كنقطة ثابتة عند معايرة ترمومترات المقاومة والترمومترات الزئبقية والازدواج الحرارى وغيرها . والجهاز الذى يستخدم عادة لتحقيقها عبارة عن اناء زجاجى معزول حراريا ويتصل بأنبوبة زجاجية بها صمام للتخلص من الماء الناتج من ذوبان الجليد .

ويجرش الجليد جيدا حتى يصبح فى شكل حبيبات دقيقة

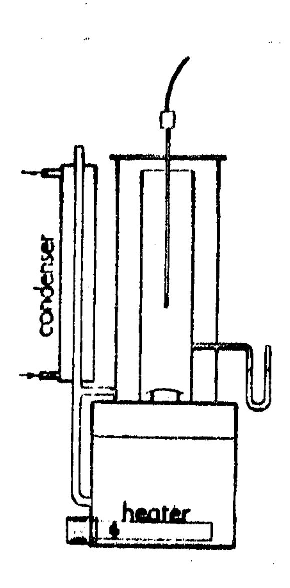
very fine shavings

ويوضع فى الاناء الزجاجى ويضاف اليه ماء مقطر ويحرك الخليط جيدا بمحـــرك خشبى ثم يضغط ويفتح الصمام للتخلص الماء حتى يبدو لون الخليط ابيضـــاً . وهذه الطريقة تؤمن تكرار نقطة تجمد الجليد فى حدود ± ٠٠١و٠ °س .

٣ـ٣ نقطة غليان الماء ونقطة غليان الكبريت :

نقطة غليان الماء هى درجة حرارة الاتزان بين الماء فى صورته السائلة والغازية تحت ضغط ٧٦٠ مليمتر زئبق والجهاز التقليدى الذى يســـتخدم لتحقيق نقطة غليان الماء موضح فى الشكل (٨) ويعرف بالهبسومتر hypsometer أى مقياس الارتفاع حيث كان الجهاز يستخدم فى الاصل لتعيين الارتفاع بقياس التغيرات فى نقطة غليان الماء نتيجة انخفاض الضغط .

وعند غليان الماء يتصاعد البخار حول انبوبة الترمومتر ثم يخرج عبر الانبوبة الخارجية الى المكثف ويرجع مرة اخرى الى الغلاية فى شكل قطرات . والجهاز مزود بمانومتر مائى water manometer لقياس فرق الضغط بين ضغط البخـار داخل الجهاز والضغط الجوى الذى يقاس بالبارومتر . كما يحتوى الجهـاز على مصيدة للاشعاع وقطرات الماء التى ربما تقذف من الغلاية .



شكل (٨)، جهاز تحقيق نقطة غليان الماء (Hypsometer)

وتحسب درجة غليان الماء t_p عند الضغط P من المعادلة التالية :

$$t_p = 100 + \frac{64.500 \log_{10}(P/P_o)}{1- 0.1979 \log_{10}(P/P_o)}$$

حيث P_o هى الضغط العيارى

$$P_o = h_o \rho_o g_o = 0.76 \times 13.5951 \times 10^3 \times 9.80655$$
$$= 1.013250 \times 10^5 \text{ Pa}$$

حيث h_o تمثل طول عمود الزئبق عند درجة الحرارة صفرسلزيوس
$(h_o=0.76 \text{ m})$

و ρ_o هى كثافة الزئبق عند درجة الحرارة صفر سلزيوس $\rho_o=1.35951\times10^4 \text{ kg m}^{-3}$

و g_o هىعجلة الجاذبية الأرضية العيارية Standard gravity

$g_o = 9.80655 \text{ m s}^{-2}$

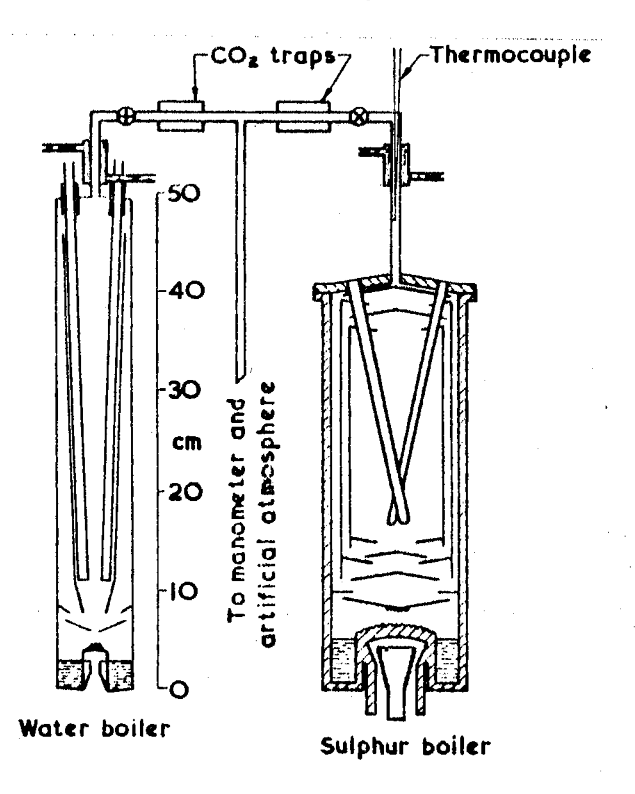
وعليه يجب تصحيح قراءة البارومتر للأخذ فى الاعتبار درجة الحرارة والقيمة المحلية لعجلة الجاذبية الأرضية ·

والغرض من استعمال انبوبة داخلية وأخرى خارجية فى جهاز تحقيق نقطة غليان الماء هو للتأكد من عدم انخفاض درجة حرارة الترمومتر بالاشعاع الى جدران الجهاز التى ربما تكون عند درجة حرارة أقل · ويمكن تحقيق نفس الغرض باستعمال مصيدة للاشعاع حول الترمومتر وهذا هو الأفضل عندما نرغب فى دقة عالية ·

والشكل رقم (٩) يوضح جهاز تحقيق نقطة غليان الماء ونقطة غليان الكبريت [21] والذى صممه المكتب الوطنى للمعايير National Bureau of Standards

وتحقيق نقطة غليان الكبريت يتطلب تصميم مصايد متطورة للاشعاع ومكثفات ذات كفاءة عالية ·

وفى أجهزة تحقيق نقط الغليان يجب أن يصنع الجهاز من مواد لاتتفاعل



شكل (٩) : جهاز تحقيق نقطة غليان الماء ونقطة غليان الكبريت

مع السائل أو بخاره ٠ فاذا صنع الجهاز من النحاس فيجب طلاؤه جيـــدا بالقصدير Tin لاستعماله لتحقيق نقطة غليان الماء ٠ أما جهاز تحقيـــق نقطة غليان الكبريت فيصنع من الالمنيوم النقى Pure aluminium

وفى جميع الاحوال يجب أن تكون الاجهزة مغلقة باحكام ولاتسمح بتسرب الهواء air-tight

وتحسب درجة غليان الكبريت t_p عند الضغط P من المعادلة التالية :

$$t_p = 444.6 + \frac{158.92 \log_{10}(P/P_o)}{1-0.234 \log_{10}(P/P_o)}$$

دراسة عملية على ترمومتر بلاتيـــــــنى

٤ـ١ تعيين مقاومة الترمومتر عند نقطة تجمد الجليد

الترمومتر الذى أجريت عليه هذه الدراسة مقدم كهدية من الدكتور مارتن

دوريو بمعمل كامرلنج أونس ، جامعة ليدن (هولندا)

Dr. M. Durieux, Kamerlingh Onnes Laboratorium,
Nieuwsteeg 18, Leiden (Holland).

والشركة المنتجة لهذه الترمومترات هى :

Sensing Devices Limited, Tithebam Road, Southport,
Merseyside, (England). Tel (0704)36162

رقم الترمومتر : SDL Ref 9779, Item H, Type PT100/1P
according to Din 43760.

وأوردت الشركة المنتجة خصائص هذا الترمومتر فى جدولين :

الجدول (١) يوضح تغير مقاومة الترمومتر مع درجة الحرارة وحساسيته فى المدى

من ـ٢٢٠ °س الى ٨٥٠ °س والجدول (٢) يوضح الحدود المسموح بهـــا

لتغير قيمة المقاومة ولدقة قياس درجة الحـرارة فى المدى من ـ٢٢٠ °س الـى

٨٥٠ °س .

مقياس فرق الجهد الذى استخدم هو

General purpose potentiometer type 3387E,
H. Tinsley & Co. Ltd., London SE 25 SLA, (England).

ودقة قياسه هى ± ١×١٠ـ٤ فولت فى المدى من ١×١٠ـ٣ فولت الى ٩و١ فولت

و ± ١×١٠ـ٥ فولت فى المدى من ١×١٠ـ٤ فولت الى ١٩و٠ فولت

و ± ١×١٠ـ٦ فولت فى المدى من ١٠ـ٥ فولت الى ١٩و٠ فولت .

المقاومة المعيارية ١٠٠ أوم عند درجة حرارة ٢٠ °س ومواصفاتها :

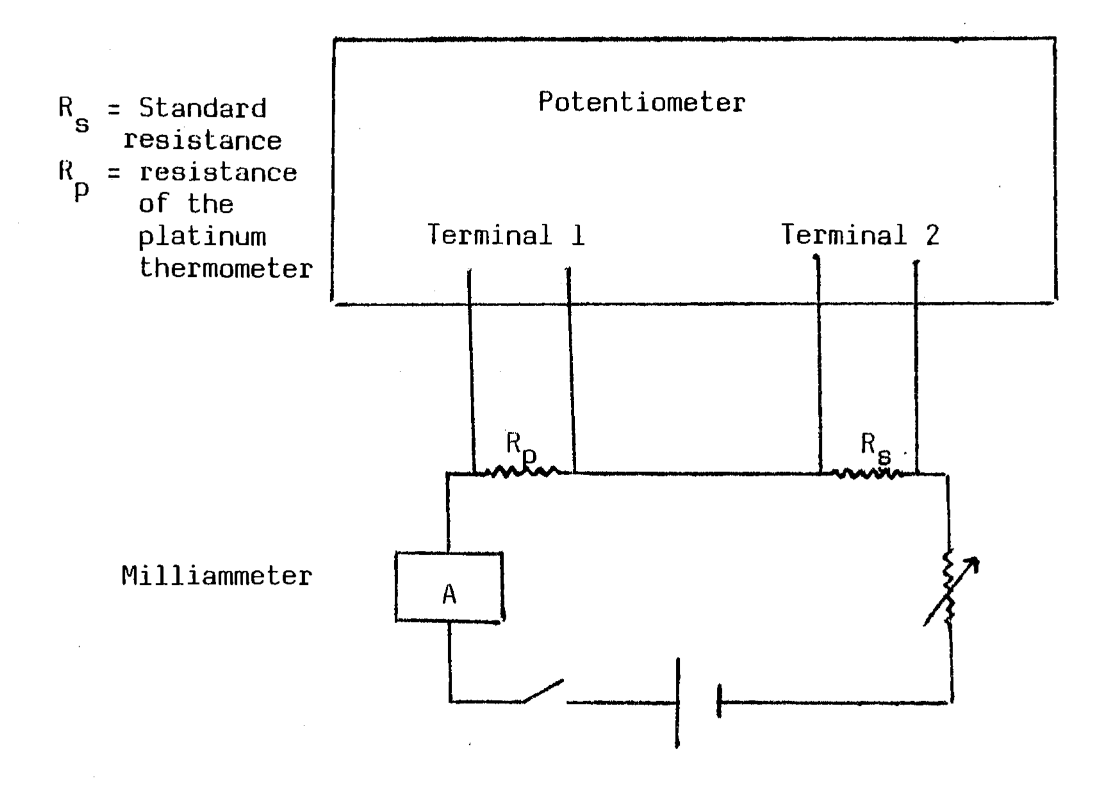
Precision non-inductive standard resistor, grade I
a.c/d.c oil filled, type 1659, 100 Ω , rated current
0.3A, max. resistance error ± 0.02 Ω, time constant =
$\frac{L}{R}$ = 1×10^{-6} s at a frequency of 10^3 Hz, max.power

dissipation 10 W,

والشركة المنتجة لها :

H. Tinsley & Co. Ltd, London SE25 5LA, England

الدائرة الكهربية التى استخدمت كما هو موضح بالشكل (١٠) حيث يتصل طرفا الترمومتر البلاتينى بالقطب١ (Terminal 1) وطرفا المقاومة العيارية بالقطب٢ (Terminal 2)



شكل (١٠) : الدائرة الكهربية لقياس مقاومة الترمومتر باستخدام مقياس فرق الجهد

يغمس الترمومتر فى جليد مجروش جيدا ومحضر من ماء مقطر ومحفوظ فى وعاء ديوار Glass Dewar ويضغط الجليد ويضاف اليه ماء مقطر ويحرك الخليط جيدا ثم يسحب الماء الى أن يبدو لون الجليد مائلا الى البياض وتتكرر عملية سحب الماء واضافة الجليد المجروش كلما دعت الحاجة .

وبعد امرار تيار مناسب فى الترمومتر (عادة فى حدود ملى امبير الى ثلاثة

ملى أمبير) ومضى فترة كافية للتأكد من حدوث الاتزان الحرارى بين الجليد والترمومتر، يعاير مقياس فرق الجهد أو يخفض التيار الذى يسرى فيه ثم يقاس فرق الجهد بين طرفى الترمومتر والمقاومة العيارية بالتناوب عدة مرات وتسجل قراءة ساعة الايقاف لحظة القياس بغرض مقارنة فروق الجهد فى نفس اللحظة . وترصد النتائج فى جداول كما تسجل قراءة البارومتر ودرجة حرارة الزئبق ودرجة حرارة المقاومة العيارية اثناء اجراء التجربة . وتكررت هذه العملية عدة مرات فى اليوم الواحد ولعدة أيام كما هو واضح من جدول (٣) الى جدول (١٧) . ولخصت النتائج لقيمة المقاومة عند نقطة انصهار الجليد فى جدول (١٨) .

وفى حالة معايرة مقياس فرق الجهد فان قراءاته تعطى فرق الجهد الحقيقى اما فى حالة تخفيض التيار الذى يسرى فى مقياس فرق الجهد فان القراءة لاتمثل فرق الجهد الحقيقى وانما تتناسب معه أى أى فرق الجهد الحقيقى يساوى قراءة مقياس فرق الجهد × ثابت .

ولحساب الضغط الجوى من قراءة البارومتر ودرجة حرارة الزئبق استخدمت

قيمة عجلة الجاذبية الأرضية بمكة المكرمة $g = 9.8\ ms^{-2}$

ومعامل التمدد الحجمى للزئبق $\beta = 1.82 \times 10^{-4}\ {}^{o}C^{-1}$ وكثافة الزئبق عند درجة

الحرارة صفر سلزيوس $\rho_o = 1.35951 \times 10^{4}\ kg\ m^{-3}$

ومعامل التمدد الطولى للنحاس الأصفر $\alpha = 2 \times 10^{-5}\ {}^{o}C^{-1}$

اما بالنسبة لحساب الضغط الجوى العيارى فاستخدمت قيمة طول عمود الزئبق

$h_o = 0.76\ m$ وعجلة الجاذبية الأرضية العيارية Standard gravity $g_o = 9.80665\ ms^{-2}$

وقيمة ρ_o المشار اليها اعلاه .

Temperatur/Resistance Table

Platinum sensing element type PT 100/1P according to DIN 43760

°C	Ohm	Ohm/°C	°C	Ohm	Ohm/°C	°C	Ohm	Ohm/°C
220	10.41	0.395	+ 140	153.57	0.375	+ 500	280.93	0.332
210	14.36	0.417	150	157.32	0.373	510	284.25	0.332
200	18.53	0.425	160	161.05	0.371	520	287.57	0.330
190	22.78	0.427	170	164.76	0.371	530	290.87	0.329
180	27.05	0.423	180	168.47	0.369	540	294.16	0.327
170	31.28	0.420	190	172.16	0.368	550	297.43	0.327
160	35.48	0.417	200	175.84	0.367	560	300.70	0.325
150	39.65	0.415	210	179.51	0.366	570	303.95	0.325
140	43.80	0.413	220	183.17	0.365	580	307.20	0.323
130	47.93	0.411	230	186.82	0.364	590	310.43	0.322
120	52.04	0.409	240	190.46	0.362	600	313.65	0.321
110	56.13	0.407	250	194.08	0.362	610	316.86	0.319
100	60.20	0.405	260	197.70	0.360	620	320.05	0.319
90	64.25	0.403	270	201.30	0.358	630	323.24	0.317
80	68.28	0.401	280	204.88	0.358	640	326.41	0.316
70	72.29	0.399	290	208.46	0.357	650	329.57	0.315
60	76.28	0.397	300	212.03	0.355	660	332.72	0.314
50	80.25	0.396	310	215.58	0.355	670	335.86	0.313
40	84.21	0.396	320	219.13	0.353	680	338.99	0.311
30	88.17	0.396	330	222.66	0.352	690	342.10	0.311
20	92.13	0.394	340	226.18	0.351	700	345.21	0.309
10	96.07	0.393	350	229.69	0.350	710	348.30	0.308
0	100.00	0.390	360	233.19	0.348	720	351.38	0.307
+ 10	103.90	0.389	370	236.67	0.348	730	354.45	0.306
20	107.79	0.388	380	240.15	0.346	740	357.51	0.304
30	111,67	0.387	390	243.61	0.345	750	360.55	0.304
40	115.54	0.386	400	247.06	0.344	760	363.59	0.302
50	119.40	0.384	410	250.50	0.343	770	366.61	0.301
60	123.24	0.383	420	253.93	0.341	780	369.62	0.300
70	127.07	0.382	430	257.34	0.341	790	372.62	0.299
80	130.89	0.381	440	260.75	0.339	800	375.61	0.298
90	134.70	0.380	450	264.14	0.338	810	378.59	0.296
100	138.50	0.378	460	267.52	0.337	820	381.55	0.295
110	142.28	0.378	470	270.89	0.336	830	384.50	0.295
120	146.06	0.376	480	274.25	0.335	840	387.45	0.293
130	149.82	0.375	490	277.60	0.333	850	390.38	

Table (1)

Tolerance according to Din 43760

Platinum sensing element type PT100/1P according to Din 43760

°C	Ohm	°C	°C	Ohm	°C
-220	± 0.7	± 1.8	400	± 0.8	± 2.3
-200	± 0.5	± 1.2	500	± 1.0	+ 3.0
-100	± 0.3	± 0.7	600	± 1.2	± 3.7
0	± 0.1	± 0.3	700	± 1.4	± 4.5
100	± 0.2	± 0.5	750	± 1.5	± 4.85
200	± 0.4	± 1.1	800	± 1.6	± 5.4
300	± 0.6	± 1.7	850	± 1.6	± 5.8

Table (2)

Date: 13th April, 1983 Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 97008 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 22.8 °C

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_o (Ω)
	min	sec			
1	0	14	0.4970^5		
2	0	40	0.4973^5	0.4969^9	99.92
1	1	20	0.4969	0.4972^8	99.92
2	1	40	0.4972^5	0.4968^6	99.92
1	2	10	0.4968	0.4972	99.92
2	2	40	0.4971^5	0.4967^3	99.92
1	2	55	0.4967	0.4971^3	99.91
2	3	30	0.4971	0.4966^7	99.91
1	3	53	0.4966	0.4970^8	99.90
2	4	20	0.4970^5	0.4965^5	99.90
1	4	50	0.4965	0.4970^3	99.89
2	5	25	0.4970	0.4964^7	99.89
1	5	55	0.4964^5	0.4969^8	99.89
2	6	25	0.4969^5	0.4964^2	99.89
1	7	00	0.4964	0.4969^5	99.89
2	7	30	0.4969^5		
				Average	99.90

Table (3)

Date: 13th April — Ice-point

Atmospheric pressure during the series : 96992 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance : 23.0 °C

Terminal	Time (min)	Time (sec)	Measured p. d.x constant (volts)	Interpolated p.d.(volts)	Thermometer resistance R_o (Ω)
1	0	20	0.9886		
2	0	45	0.9894^5	0.9883	99.88
1	1	10	0.9880	0.9892^5	99.87
2	1	40	0.9890	0.9883^6	99.96
1	2	35	0.9896	0.9902^5	99.93
2	2	55	0.9907	0.9895	99.88
1	3	20	0.9893	0.9906^1	99.87
2	3	50	0.9905	0.9891^8	99.87
1	4	10	0.9891	0.9904^2	99.87
2	4	30	0.9902	0.9890^3	99.87
1	4	55	0.9889^5	0.9902^9	99.86
2	5	30	0.9902	0.9888^5	99.86
1	5	50	0.9888	0.9901^4	99.86
2	6	20	0.9900	0.9887	99.86
1	7	05	0.9885^5	0.9899^9	99.85
2	7	35	0.9899^5		
				Average	99.88

Table (4)

Date: 13th April, 1983 Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 96991 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 3 mA

Temperature of the standard resistance : 23.0 °C

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d.(volts)	Thermometer resistance R_0 (Ω)
	min	sec			
1	0	07	1.4840		
2	0	45	1.4865	1.4835^5	99.80
1	1	15	1.4832	1.4873	99.72
2	2	15	1.4883	1.4840	99.71
1	3	00	1.4846	1.4881^6	99.76
2	3	30	1.4879	1.4843^2	99.76
1	4	00	1.4840^5	1.4877^8	99.75
2	4	20	1.4877	1.4839^2	99.75
1	4	45	1.4837^5	1.4875^9	99.74
2	5	15	1.4874^5	1.4835^6	99.74
1	5	40	1.4834	1.4873^5	99.73
2	6	05	1.4872^5	1.4832^2	99.73
1	6	35	1.4830	1.4871^3	99.72
2	6	55	1.4870^5	1.4828^7	99.72
1	7	15	1.4827^5	1.4870^1	99.71
2	7	43	2.4869^5		
				Average	99.74

Table (5)

Date: 13th April, 1983 Ice-point

Atmospheric preesure during the series : 96949 Pa

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 23.4 ^{o}C

Potentiometer was uncalibrated

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_o (Ω)
	min	sec			
1	0	07	0.4974		
2	0	27	0.4977^{5}	0.4974^{4}	99.93
1	0	55	0.4975	0.4977^{8}	99.94
2	1	17	0.4978	0.4975	99.94
1	1	35	0.4975	0.4978^{2}	99.93
2	1	55	0.4978^{5}	0.4975^{2}	99.93
1	2	25	0.4975^{5}	0.4978^{8}	99.93
2	2	50	0.4979	0.4975^{8}	99.94
1	3	07	0.4976	0.4979	99.94
2	3	40	0.4979	0.4976	99.94
1	4	00	0.4976	0.4979	99.94
2	4	25	0.4979	0.4976	99.94
1	4	45	0.4976	0.4979	99.94
2	5	20	0.4979	0.4976^{3}	99.95
1	5	38	0.4976^{5}	0.4979^{2}	99.95
2	6	00	0.4979^{5}		
				Average	99.94

Table (6)

Date: 13th April, 1983 — Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 96962 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance: 24.0 °C

Terminal	Time (min)	Time (sec)	Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_0 (Ω)
1	0	10	0.9901		
2	0	40	0.9903	0.9900^{4}	99.97
1	0	56	0.9900	0.9902^{3}	99.97
2	1	15	0.9901^{5}	0.9899^{4}	99.98
1	1	30	0.9899	0.9901^{2}	99.98
2	2	05	0.9900^{5}	0.9898	99.97
1	2	23	0.9897^{5}	0.9900^{2}	99.97
2	2	40	0.9900	0.9897	99.97
1	3	00	0.9896^{5}	0.9899^{8}	99.97
2	3	25	0.9899^{5}	0.9896^{2}	99.97
1	3	45	0.9896	0.9899^{2}	99.97
2	4	05	0.9899	0.9895^{5}	99.96
1	4	26	0.9895	0.9898^{3}	99.97
2	4	52	0.9897^{5}	0.9894^{7}	99.97
1	5	15	0.9894^{5}	0.9897^{3}	99.97
2	5	40	0.9897		
				Average	99.97

Table (7)

Ice-point

Date: 13th April, 1983

Atmospheric pressure during the series: 96976 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 3 mA

Temperature of the standard resistance : 24.0 °C

Terminal	Time (min)	Time (sec)	Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_o (Ω)
1	0	10	1.4861^{5}		
2	0	35	1.4861	1.4858^{7}	99.98
1	1	00	1.4856	1.4858^{2}	99.99
2	1	15	1.4856^{5}	1.4855	99.99
1	1	40	1.4853	1.4855^{3}	99.98
2	1	56	1.4854^{5}	1.4851^{8}	99.98
1	2	20	1.4850	1.4853^{1}	99.98
2	2	38	1.4852	1.4849^{5}	99.98
1	2	55	1.4849	1.4851	99.99
2	3	13	1.4850	1.4847^{6}	99.98
1	3	35	1.4846	1.4849^{3}	99.98
2	4	00	1.4848^{5}	1.4844^{9}	99.98
1	5	05	1.4842	1.4845^{2}	99.98
2	5	30	1.4844	1.4840^{7}	99.98
1	5	45	1.4840	1.4843^{4}	99.98
2	6	10	1.4842^{5}		
				Average	99.98

Table (8)

Date: 20th April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 97019 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 23.0 °C

Terminal	Time (min)	Time (sec)	Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_o (Ω)
1	0	05	0.5183		
2	0	30	0.5176	0.5182	100.12
1	1	05	0.5180^{5}	0.5174^{9}	100.11
2	1	25	0.5174	0.5180	100.12
1	1	45	0.5179^{5}	0.5173^{6}	100.11
2	2	10	0.5173	0.5178^{8}	100.11
1	2	36	0.5178	0.5172^{5}	100.11
2	3	05	0.5172	0.5177^{7}	100.11
1	3	30	0.5177^{5}	0.5171^{5}	100.12
2	3	55	0.5171	0.5177	100.12
1	4	18	0.5176^{5}	0.5170^{8}	100.11
2	4	45	0.5170^{5}	0.5176^{2}	100.11
1	5	05	0.5176	0.5170^{3}	100.11
2	5	30	0.5170	0.5175^{7}	100.11
1	5	43	0.5175^{5}	0.5170	100.11
2	6	15	0.5170		
				Average	100.11

Table (9)

Ice-point

Date: 20th April, 1983

Atmospheric pressure during the series: 96969 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance : 24.0 ^{o}C

Terminal	Time (min)	Time (sec)	Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d.(volts)	Thermometer resistance R_o (Ω)
1	0	10	1.0302		
2	0	38	1.0286	1.0299^{5}	100.13
1	1	05	1.0297	1.0284	100.13
2	1	33	1.0282	1.0295^{5}	100.13
1	2	00	1.0294	1.0280^{4}	100.13
2	2	25	1.0279	1.0292^{4}	100.13
1	2	55	1.0290^{5}	1.0277^{4}	100.13
2	3	20	1.0276	1.0289^{7}	100.13
1	3	55	1.0288^{5}	1.0296^{3}	99.92
2	5	10	1.0305	1.0296^{5}	99.92
1	5	50	1.0318	1.0304^{2}	100.13
2	6	30	1.0303^{5}	1.0316^{2}	100.13
1	6	50	1.0316	1.0302^{7}	100.13
2	7	18	1.0301^{5}	1.0315^{1}	100.13
1	7	50	1.0314^{5}	1.0300^{6}	100.13
2	8	10	1.0300		
				Average	100.13

Table (10)

Date: 20th April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series : 96969 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 3 mA

Temperature of the standard resistance : 24.0 ^{o}C

Terminal	Time	Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_0
1	min sec			(Ω)
1	0 13	1.5495		
2	0 40	1.5468^{5}	1.5492^{4}	100.15
1	1 05	1.5490	1.5466^{6}	100.15
2	1 40	1.5464	1.5487^{4}	100.15
1	2 05	1.5485^{5}	1.5461^{8}	100.15
2	2 25	1.5460	1.5484^{1}	100.16
1	2 48	1.5482^{5}	1.5458^{6}	100.15
2	3 15	1.5457	1.5481^{2}	100.16
1	3 50	1.5479^{5}	1.5455	100.16
2	4 25	1.5453	1.5477^{2}	100.16
1	4 43	1.5476	1.5452	100.16
2	5 10	1.5450^{5}	1.5474^{9}	100.16
1	5 32	1.5474	1.5450	100.16
2	5 65	1.5449^{5}	1.5478^{7}	100.19
1	7 20	1.5495	1.5463^{9}	100.19
2	7 50	1.5469		
			Average	100.16

Table (11)

Date: 20th April, 1983 Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 96982 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance: 24.o °C

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_o
	min	sec			(Ω)
1	0	20	0.5189		
2	0	45	0.5182	0.5189^{9}	100.15
1	1	04	0.5190^{5}	0.5182^{5}	100.15
2	1	25	0.5183	0.5191	100.15
1	1	48	0.5191^{5}	0.5183^{8}	100.15
2	2	10	0.5184^{5}	0.5192	100.14
1	2	30	0.5192^{5}	0.5182^{9}	100.19
2	3	00	0.5180^{5}	0.5190^{7}	100.20
1	3	20	0.5189^{5}	0.5180^{9}	100.17
2	3	45	0.5181^{5}	0.5189^{8}	100.16
1	4	10	0.5190	0.5181^{8}	100.16
2	4	25	0.5182	0.5190^{2}	100.16
1	4	45	0.5190^{5}	0.5182^{6}	100.15
2	5	00	0.5183	0.5190^{7}	100.15
1	5	25	0.5191	0.5183^{3}	100.15
2	5	43	0.5183^{5}		
				Average	100.15

Table (12)

Date: 20th, April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 96989 Pa

Potentiometer was calibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance: 24.0 °C

Terminal	Time		Measured p.d. (volts)	Interpolated p.d.(volts)	Thermometer resistance R_0
	min	sec			(Ω)
1	0	00	0.1002		
2	0	55	0.1000	0.1002	100.20
1	1	25	0.1002	0.1000	100.20
2	1	55	0.1000	0.1002	100.20
1	2	18	0.1002	0.1000	100.20
2	2	45	0.1000	0.1002	100.20
1	3	00	0.1002	0.1000	100.20
2	3	25	0.1000	0.1002	100.20
1	3	45	0.1002	0.1000	100.20
2	4	07	0.1000	0.1002	100.20
1	4	25	0.1002	0.1000	100.20
2	4	52	0.1000	0.1002	100.20
1	5	08	0.1002	0.1000	100.20
2	5	20	0.1000	0.1002	100.20
1	5	35	0.1002	0.1000	100.20
2	6	00	0.1000		
				Average	100.20

Table (13)

Ice-point

Date: 27th April, 1983

Atmospheric pressure during the series: 96975 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance: 23.0 °C

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_0
	min	sec			(Ω)
1	0	25	0.5219^{5}		
2	1	00	0.5214	0.5218^{9}	100.09
1	1	20	0.5218^{5}	0.5213^{5}	100.10
2	1	40	0.5213	0.5218	100.10
1	2	00	0.5217^{5}	0.5212^{3}	100.10
2	2	20	0.5212^{5}	0.5217^{1}	100.09
1	2	45	0.5216^{5}	0.5211^{9}	100.09
2	3	05	0.5211^{5}	0.5216^{2}	100.09
1	3	20	0.5216	0.5211^{3}	100.09
2	3	42	0.5211	0.5215^{9}	100.09
1	4	35	0.5215^{5}	0.5210^{3}	100.10
2	5	00	0.5210	0.5215^{5}	100.11
1	5	13	0.5215^{5}	0.5209^{8}	100.11
2	5	30	0.5209^{5}	0.5215	100.11
1	5	50	0.5214^{5}	0.5209^{3}	100.10
2	6	20	0.5209		
				Average	100.10

Table (14)

Date: 27th April, 1983

Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 97004 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance: 22.8 ^{o}C

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_o
	min	sec			(Ω)
1	0	25	1.0361		
2	0	55	1.0350	1.0359^{7}	100.09
1	1	22	1.0358^{5}	1.0348	100.10
2	1	50	1.0346	1.0357	100.11
1	2	08	1.0356	1.0345^{4}	100.11
2	2	35	1.0344^{5}	1.0355^{1}	100.10
1	2	55	1.0354^{5}	1.0343^{9}	100.10
2	3	25	1.0343	1.0353^{3}	100.10
1	3	45	1.0352^{5}	1.0341^{9}	100.10
2	4	00	1.0341	1.0352^{3}	100.11
1	5	20	1.0351^{5}	1.0340^{2}	100.11
2	5	45	1.0340	1.0350^{6}	100.10
1	6	00	1.0350	1.0339^{4}	100.10
2	6	20	1.0338^{5}	1.0349^{6}	100.11
1	6	45	1.0349	1.0337^{7}	100.11
2	7	05	1.0337		
				Average	100.10

Table (15)

Date : 27th April, 1983 — Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 96984 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 3 mA

Temperature of the standard resistance : 22.8 °C

Terminal	Time (min)	Time (sec)	Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_0 (Ω)
1	0	05	1.6970^{5}		
2	0	25	1.6949^{5}	1.6968^{5}	100.11
1	0	50	1.6966	1.6948^{1}	100.11
2	1	07	1.6945^{5}	1.6964^{3}	100.11
1	1	25	1.6962^{5}	1.6943^{4}	100.11
2	1	45	1.6941	1.6960^{8}	100.12
1	2	05	1.6959	1.6939^{6}	100.11
2	2	35	1.6937^{5}	1.6956^{6}	100.11
1	2	55	1.6955	1.6935^{9}	100.11
2	3	20	1.6934	1.6952^{8}	100.11
1	3	40	1.6951	1.6932^{3}	100.11
2	3	55	1.6931	1.6950^{2}	100.11
1	4	10	1.6949^{5}	1.6930^{4}	100.11
2	4	30	1.6929^{5}	1.6948^{1}	100.11
1	4	45	1.6947	1.6927^{7}	100.11
2	5	00	1.6926		
				Average	100.11

Table (16)

Date: 27th April, 1983 Ice-point

Atmospheric pressure during the series: 96951 Pa

Potentiometer was calibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance: 22.8°C

Terminal	Time		Measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_0
	min	sec			(Ω)
1	0	25	0.1001		
2	1	00	0.1000^5	0.1001^6	100.11
1	1	20	0.1002	0.1000^9	100.11
2	1	50	0.1001^5	0.1002	100.05
1	2	10	0.1002	0.1001^5	100.05
2	2	30	0.1001^5	0.1002^2	100.07
1	3	00	0.1002^5	0.1001^5	100.10
2	3	30	0.1001^5	0.1002^5	100.10
1	4	00	0.1002^5	0.1001^8	100.07
2	4	25	0.1002	0.1002^5	100.05
1	4	50	0.1002^5	0.1002	100.05
2	5	10	0.1002	0.1002^5	100.05
1	5	25	0.1002^5	0.1002	100.05
2	5	50	0.1002	0.1002^8	100.08
1	6	05	0.1003	0.1002	100.10
2	6	25	0.1002		
				Average	100.08

Table (17)

Summary of results for resistance measurement at the ice-point

Date	Table No.	Average R_o (Ω)
13-4-83	3	99.90
	4	99.88
	5	99.74
	6	99.94
	7	99.97
	8	99.98
20-4-83	9	100.11
	10	100.13
	11	100.16
	12	100.15
	13	100.20
27-4-83	14	100.10
	15	100.10
	16	100.11
	17	100.08
MEAN value of R_o		100.04

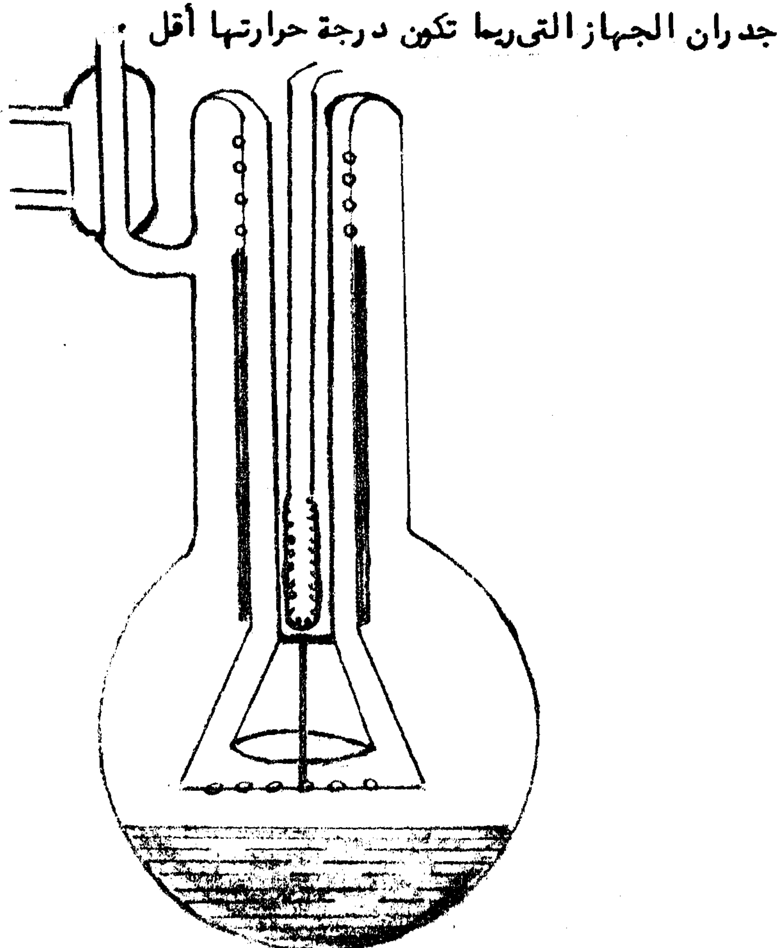
$$R_o = 100.04 \pm 0.10 \quad \Omega$$

Table (18)

٤ـ٢ تعيين مقاومة الترمومتر عند نقطة غليان الماء

استخدم جهاز مبسط ذو كفاءة عالية لتحقيق نقطة غليان الماء قام بتصميمه الاستاذ الدكتور محمد محمود عمار[٢٢] فالجهاز كما هو موضح بالشكل (١١) مصنع من الزجاج ومزود بمكثف ومصيدة لقطرات الماء التى ربما تقذف تجاه الترمومتر ومصيدة للاشعاع حول الترمومتر مكونة من أنبوبة داخلية وخارجية بالاضافة الى القصدير الملفوف حول الانبوبة الخارجية ٠

وهذه المصيدة تؤمن عدم هبوط درجة حرارة الترمومتر بالاشعاع الى جدران الجهاز التى ربما تكون درجة حرارتها أقل ٠



شكل (١١) : جهاز تحقيق نقطة غليان الماء

يستخدم فى الجهاز ماء مقطر ويسخن حتى يغلى ثم تخفض القدرة فى فرن التسخين ٠ ولاتبدأ القياسات الا بعد مضى فترة كافية لحدوث اتزان

حرارى بين الترمومتر والبخار وطرد الهواء بالجهاز تماما وتتبع نفس الطريقة التى تم بموجبها قياس مقاومة الترمومتر عند درجة تجمد الجليد الا أن قراءة البارومتر كانت تؤخذ فى فترات اكثر تقاربا (بعد كل عشر دقائق) . وفى قراءات أحد الأيام قيس فرق الجهد بين طرفى المقاومة العيارية وطرفى الترمومتر قبل وبعد عكس اتجاه التيار فى الترمومتر لتفادى أى أثر للقوى الدافعة الكهروحرارية .

ورصدت النتائج فى الجداول من جدول (١٩) الى جدول (٤١) .
ولخصت النتائج لقيمة المقاومة عند نقطة غليان الماء فى الجدول (٤٢) .
وحسبت درجة حرارة غليان الماء t من المعادلة التالية :

$$t = 100 + \frac{64.500 \log_{10}(P/P_o)}{1- 0.1979 \log_{10}(P/P_o)}$$

حيث $P_o = 101325$ Pa وهى الضغط الجوى العيارى

و P هى متوسط الضغط الجوى عند بداية ونهاية القراءة

أما قيمة المقاومة R_{100} (عند درجة الحرارة ١٠٠ °س) فحسبت من المعادلة التالية :

$$R_{100} = R_t + \frac{(100-t)(R_t-R_o)}{t}$$

Date : 20th April, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96856 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96916 Pa

The potentiometer was calibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance: 24.0 ^{o}C

Terminal	time		Measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	55	0.1381		
2	1	40	0.0999^5	0.1381	138.17
1	2	30	0.1381	0.0999^3	138.20
2	3	30	0.0999	0.1381	138.24
1	4	20	0.1381	0.0999^3	138.20
2	4	55	0.0999^5	0.1381	138.17
1	5	25	0.1381	0.0999^5	138.17
2	6	00	0.0999^5	0.1381^3	138.20
1	6	35	0.1381^5	0.0999^3	138.25
2	7	15	0.0999	0.1381^5	138.29
1	8	10	0.1381^5	0.0999^3	138.25
2	9	05	0.0999^5	0.1381^5	138.22
1	9	45	0.1381^5	0.0999^5	138.22
2	10	25	0.0999^5	0.1381^5	138.22
1	11	13	0.1381^5	0.0999^5	138.22
2	11	35	0.0999^5		
				Average	138.22

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.750 ^{o}C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 ^{o}C = 138.70 Ω

Table (19)

Date : 20th April, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96916 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series: 96909 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 24.0 °C

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t
	min	sec			(Ω)
1	16	40	0.7207		
2	17	15	0.5211^5	0.7206^2	138.27
1	17	50	0.7205^5	0.5213^1	138.22
2	18	20	0.5214^5	0.7207^5	138.22
1	18	43	0.7209	0.5214^2	138.26
2	19	15	0.5214	0.7208^7	138.26
1	19	35	0.7208^5	0.5213^6	138.26
2	20	10	0.5213	0.7208^2	138.27
1	20	30	0.7208	0.5212^8	138.28
2	20	55	0.5212^5	0.7207^7	138.28
1	21	10	0.7207^5	0.5212^3	138.28
2	21	30	0.5212	0.7207^5	138.29
1	21	45	0.7207^5	0.5212	138.29
2	22	00	0.5212	0.7207^5	138.29
1	22	17	0.7207	0.5211^6	138.30
2	22	45	0.5211	0.7207^5	138.31
1	23	05	0.7207^5	0.5211	138.31
2	23	38	0.5211	0.7207^5	138.31
1	23	46	0.7207^5	0.5210^9	138.32
2	24	20	0.5210^5		
				Average	138.28

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.756 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100°C =138.76 Ω

Table (20)

Date : 20th April, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96956 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96929 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance : 24.0 °C

Terminal	Time (min)	Time (sec)	Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d.(volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
1	0	20	1.4333^5		
2	1	00	1.0365	1.4337^3	138.32
1	2	10	1.4340	1.0366^2	138.33
2	4	20	1.0368^5	1.4334^6	138.25
1	5	10	1.4332^5	1.0367	138.25
2	5	42	1.0366	1.4331^4	138.25
1	6	20	1.4330	1.0365^4	138.25
2	6	50	1.0365	1.4328^7	138.24
1	7	30	1.4327	1.0363^9	138.24
2	8	25	1.0362^5	1.4325^6	138.24
1	8	50	1.4325	1.0361^8	138.25
2	9	20	1.0361	1.4324^2	138.25
1	9	45	1.4323^5	1.0360^6	138.25
2	10	22	1.0360	1.4322^3	138.25
1	10	45	1.4321^5	1.0359^5	
2	11	10	1.0359		
				Average	138.26

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.765 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C= 138.74 Ω

Table (21)

Date : 20th April, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96916 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96962 Pa

The potentiometer was calibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance : 24.0 ^{o}C

Terminal	time		Measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t
	min	sec			(Ω)
1	0	25	0.2750		
2	1	15	0.1989	0.2750	138.26
1	1	40	0.2750	0.1989	138.26
2	2	05	0.1989	0.2750	138.26
1	2	35	0.2750	0.1989	138.26
2	3	10	0.1989	0.2750	138.26
1	3	38	0.2750	0.1989	138.26
2	4	10	0.1989	0.2750	138.26
1	4	35	0.2750	0.1988^{7}	138.28
2	4	55	0.1988^{5}	0.2750	138.30
1	5	23	0.2750	0.1988^{5}	138.30
2	5	45	0.1988^{5}	0.2750	138.30
1	6	02	0.2750	0.1988^{5}	138.30
2	6	25	0.1988^{5}	0.2750	138.30
1	6	45	0.2750	0.1988^{7}	138.28
2	7	15	0.1989	0.2750^{2}	138.27
1	7	50	0.2750	0.1989	138.29
2	8	15	0.1989		
				Average	138.28

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.764 ^{o}C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100^{o}C = 138.76 Ω

Table (22)

Date: 20th April, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96962 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96989 Pa

The potentiometer was calibrated

Thermometer current : 3 mA

Temperature of the standard resistance : 24.0 °C

TErminal	time		Measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R (Ω)
	min	sec			
1	0	05	0.4131^5		
2	0	50	0.2986	0.4130^9	138.34
1	1	20	0.4130^5	0.2985^8	138.34
2	1	52	0.2985^5	0.4130^2	138.34
1	2	15	0.4130	0.2985^3	138.34
2	2	50	0.2985	0.4130	138.36
1	3	10	0.4130	0.2984^8	138.37
2	3	40	0.2984^5	0.4132	138.46
1	4	25	0.4136	0.2987	138.47
2	5	00	0.2989	0.4135^8	138.37
1	5	55	0.4135^5	0.2988^7	138.37
2	6	20	0.2988^5	0.4135^3	138.37
1	6	50	0.4135	0.2988^3	138.37
2	7	25	0.2988	0.4135	138.39
1	7	55	0.4135	0.2986^7	138.40
2	8	20	0.2987^5		
				Average	138.36

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.775 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100°C =138.84 Ω

Table (23)

Date : 20th April, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96989 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96976 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current: 3 mA

Temperature of the standard resistance : 24.0 ^{o}C

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	35	1.8990^5		
2	1	05	1.3721	1.8988^5	138.39
1	1	35	1.8986^5	1.3720^1	138.38
2	2	15	1.3719	1.8985^1	138.39
1	2	45	1.8984	1.3717^4	138.39
2	3	20	1.3715^5	1.8997^1	138.51
1	4	00	1.9012	1.3722^6	138.55
2	5	10	1.3735	1.9008^8	138.40
1	5	40	1.9007^5	1.3734^2	138.40
2	6	15	1.3733^5	1.9006^7	138.40
1	6	55	1.9005	1.3732^2	138.40
2	7	20	1.3731^5	1.9003^8	138.40
1	8	00	1.9002	1.3730^5	138.39
2	8	18	1.3730	1.9001^2	138.39
1	8	45	1.9000	1.3729^5	138.39
2	9	10	1.3729	1.8999^1	138.39
1	10	10	1.8997	1.3726^9	138.39
2	10	50	1.3725^5		
				Average	138.39

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.777^{o}C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100^{o}C = 138.86 Ω

Table (24)

Date: 20th April, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96975 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96962 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 24.0 °C

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d.(volts)	Thermometer resistance R_t
	min	sec			(Ω)
1	0	55	0.7514^5		
2	1	25	0.5431	0.7515	138.38
1	2	00	0.7516	0.5432^2	138.36
2	2	23	0.5433	0.7517^2	138.36
1	2	40	0.7518	0.5433^3	138.37
2	3	15	0.5434	0.7519	138.37
1	3	35	0.7519^5	0.5434^4	138.37
2	4	00	0.5435	0.7516^4	138.30
1	4	35	0.7512	0.5431^3	138.31
2	4	57	0.5429	0.7512^4	138.38
1	5	25	0.7513	0.5429^6	138.37
2	5	45	0.5430	0.7513^5	138.37
1	6	05	0.7514	0.5430^3	138.37
2	6	25	0.5430^5	0.7514^4	138.37
1	6	50	0.7515	0.5430^8	138.38
2	7	13	0.5431	0.7515	138.37
1	7	40	0.7515	0.5431^3	138.36
2	7	55	0.5431^5	0.7515^4	138.37
1	8	15	0.7516	0.5431^8	138.37
2	8	35	0.5432		
				Average	138.37

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.773 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.85 Ω

Table (25)

Date: 20th April, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96962 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96979 Pa

The potentiometer was calibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 24.2 °C

Terminal	time (min)	time (sec)	Measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance (Ω)
1	1	00	0.1382^{5}		
2	1	45	0.1000	0.1382^{5}	138.25
1	2	00	0.1382^{5}	0.1000	138.25
2	2	30	0.1000	0.1382^{5}	138.25
1	3	00	0.1382^{5}	0.1000	138.25
2	3	25	0.1000	0.1383^{3}	138.33
1	3	45	0.1384	0.1000	138.40
2	4	20	0.1000	0.1383^{6}	138.36
1	4	35	0.1383^{5}	0.1000	138.35
2	5	05	0.1000	0.1383^{5}	138.35
1	5	30	0.1384	0.1000	138.37
2	5	50	0.1000	0.1383^{7}	138.40
1	6	10	0.1384	0.1000	138.40
2	6	30	0.1000	0.1384	138.40
1	7	15	0.1384	0.1000	138.40
2	7	45	0.1000	0.1384	138.40
1	8	20	0.1384	0.1000	138.42
2	8	50	0.1000	0.1384^{2}	138.45
1	9	30	0.1384^{5}	0.1000	
2	9	50	0.1000		
				Average	138.35

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.773 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100°C = 138.83 Ω

Table (26)

Date : 21st April, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96528 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series: 96520 Pa

The potentiometer was calibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 25.4 °C

Terminal	Time		Measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t
	min	sec			(Ω)
1	1	00	0.1381		
2	1	25	0.1000	0.1381	138.10
1	1	45	0.1381	0.0999^{7}	138.14
2	2	05	0.0999^{5}	0.1381^{3}	138.20
1	2	45	0.1382	0.0999^{5}	138.27
2	3	10	0.0999^{5}	0.1381^{5}	138.22
1	3	35	0.1381	0.0999^{5}	138.17
2	4	05	0.0999^{5}	0.1381^{1}	138.18
1	5	20	0.1381^{5}	0.0999^{9}	138.16
2	5	35	0.1000	0.1381^{5}	138.15
1	5	55	0.1381^{5}	0.1000	138.15
2	6	15	0.1000	0.1381^{5}	138.15
1	6	35	0.1381^{5}	0.1000	138.15
2	6	55	0.1000	0.1381^{5}	138.15
1	7	25	0.1381^{5}	0.1000	
2	8	00	0.1000		
				Average	138.17

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.644 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C= 138.69 Ω

Table (27)

Date: 21st April, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96520 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96580 Pa

potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperaure of the standard resistance : 25.4 °C

Terminal	Time (min)	Time (sec)	Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
1	0	20	0.7392^5		
2	1	15	0.5348^5	0.7391^9	138.21
1	2	00	0.7391^5	0.5348^2	138.21
2	2	25	0.5348	0.7391^3	138.21
1	2	50	0.7391	0.5347^5	138.21
2	3	20	0.5347	0.7390^5	138.22
1	3	45	0.7390	0.5346^7	138.22
2	4	05	0.5346^5	0.7390^2	138.23
1	4	30	0.7390^5	0.5346^8	138.22
2	4	50	0.5347	0.7390^1	138.21
1	5	15	0.7389^5	0.5346^5	138.21
2	5	45	0.5346	0.7389^2	138.22
1	6	05	0.7389	0.5346	138.22
2	6	30	0.5346	0.7388^3	138.20
1	6	55	0.7388^5	0.5345^2	138.23
2	7	15	0.5345^5		
				Average	138.22

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.652 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.74 Ω

Table (28)

Date: 21st April, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96580 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96586 Pa

The potentiometer was calibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance : 25.8 °C

Terminal	Time		Measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t
	min	sec			(Ω)
1	0	20	0.2744		
2	1	00	0.1984	0.2743^{5}	138.28
1	1	45	0.2743	0.1983^{7}	138.28
2	2	25	0.1983^{5}	0.2742^{7}	138.28
1	3	00	0.2742^{5}	0.1983^{2}	138.29
2	3	25	0.1983	0.2744^{5}	138.40
1	4	15	0.2748^{5}	0.1985^{4}	138.44
2	4	50	0.1987	0.2748^{3}	138.31
1	5	35	0.2748	0.1987	138.30
2	6	05	0.1987	0.2748	138.30
1	6	35	0.2748	0.1986^{5}	138.33
2	7	05	0.1986	0.2747^{7}	138.35
1	7	30	0.2747^{5}	0.1986	138.34
2	8	10	0.1986	0.2747^{5}	138.34
1	8	30	0.2747^{5}	0.1986	138.34
2	9	00	0.1986		
				Average	138.31

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.661 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.83 Ω

Table (29)

Date: 21st April, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96580 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series: 96664 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance : 25.8 ^{o}C

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t
	min	sec			(Ω)
1	0	25	1.4419^5		
2	0	52	1.0434	1.4421^6	138.22
1	3	05	1.4432	1.0438^5	138.26
2	4	05	1.0440^5	1.4430^7	138.22
1	4	35	1.4430	1.0440^2	138.22
2	4	55	1.0440	1.4429^5	138.21
1	5	15	1.4429	1.0439^3	138.22
2	5	40	1.0438^5	1.4428^7	138.23
1	6	00	1.4428^5	1.0438^3	138.23
2	6	20	1.0438	1.4427^9	138.22
1	6	50	1.4427	1.0437^3	138.22
2	7	15	1.0437	1.4426^2	138.22
1	8	05	1.4424^5	1.0435^9	138.22
2	8	25	1.0435^5	1.4424^7	138.23
1	8	50	1.4425	1.0435^2	138.23
2	9	10	1.0435		
				Average	138.23

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.674 ^{o}C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 ^{o}C = 138.74 Ω

Table (30)

Date: 21st April, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96664 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96656 Pa

The potentiometer was calibrated

Thermometer current : 3 mA

Temperature of the standard resistance : 25.9 oC

Terminal	Time (min)	Time (sec)	Measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance (Ω)
1	0	30	0.4114⁵		
2	1	00	0.2975⁵	0.4114³	138.27
1	1	32	0.4114	0.2975²	138.28
2	1	55	0.2975	0.4117⁷	138.40
1	2	40	0.4125	0.2980⁸	138.39
2	3	05	0.2984	0.4125	138.24
1	3	30	0.4125	0.2984	138.24
2	3	50	0.2984	0.4125	138.24
1	4	10	0.4125	0.2984	138.24
2	4	30	0.2984	0.4124⁷	138.23
1	4	50	0.4124⁵	0.2984	138.22
2	5	15	0.2984	0.4124	138.21
1	5	40	0.4124	0.2983⁷	138.22
2	5	58	0.2983⁵	0.4124	138.23
1	6	15	0.4124	0.2983³	138.24
2	6	35	0.2983		
				Average	138.24

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.684 ^{o}C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 ^{o}C = 138.75 Ω

Table (31)

Date: 21st April, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96656 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96656 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 3 mA

Temperature of the standard resistance: 26.0 ^{o}C

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d.(volts)	Thermometer resistance R_t
	min	sec			(Ω)
1	0	22	1.8450		
2	0	55	1.3347^{5}	1.8450	138.23
1	1	25	1.8450	1.3346^{1}	138.24
2	1	50	1.3343	1.8449^{2}	138.25
1	2	12	1.8448^{5}	1.3344^{2}	138.25
2	2	55	1.3342^{5}	1.8446	138.25
1	3	20	1.8444^{5}	1.3341^{8}	138.25
2	4	45	1.3339^{5}	1.8441^{3}	138.25
1	6	15	1.8438	1.3336	138.26
2	6	40	1.3335	1.8436^{9}	138.26
1	7	00	1.8436	1.3334^{5}	138.26
2	7	20	1.3334	1.8436^{5}	138.27
1	7	40	1.8437	1.3333^{8}	138.27
2	8	02	1.3333^{5}	1.8437^{3}	138.28
1	8	20	1.8437^{5}	1.3332^{8}	138.29
2	8	40	1.3332	1.8436^{6}	138.29
1	8	55	1.8436	1.3331^{1}	138.29
2	9	12	1.3330		
				Average	138.26

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.684 ^{o}C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 ^{o}C = 138.77 Ω

Table (32)

Date : 26th April, 1983

Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96822 Pa

Atmospheric pressure at the end at the series : 96822 Pa

The potentiometer was calibrated

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance : 23.0 °C

Terminal	Time (min)	Time (sec)	Measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
1	0	20	0.1381^5		
2	1	05	0.1000	0.1381^7	138.17
1	1	35	0.1382	0.1000	138.20
2	2	00	0.1000	0.1381^7	138.17
1	2	15	0.1381^5	0.1000	138.15
2	2	45	0.1000	0.1382^1	138.21
1	3	55	0.1383^5	0.1000	138.35
2	4	35	0.1000	0.1383^1	138.31
1	6	30	0.1382	0.0999^6	138.25
2	7	00	0.0999^5	0.1382	138.27
1	7	55	0.1382	0.0999^5	138.27
2	8	17	0.0999^5	0.1382	138.27
1	8	40	0.1382	0.999^5	138.27
2	9	05	0.0999^5	0.1382^3	138.30
1	9	30	0.1382^5	0.0999^5	138.32
2	9	50	0.0999^5		
				Average	138.26

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.730 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.75 Ω

Table (33)

Date: 1st May 1983 — Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96420 Pa
Atmospheric pressure at the end of the series : 96480 Pa
The potentiometer was calibrated
Thermometer current : 1 mA
Temperature of the standard resistance : 26.0 °C

Terminal	time (min)	time (sec)	measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
1	0	18	0.1381		
2	0	48	0.0999^5	0.1381	138.17
1	1	38	0.1381	0.0999^5	138.17
2	2	12	0.0999^5	0.1381	138.17
1	2	35	0.1381	0.0999^5	138.17
2	3	00	0.0999^5	0.1380^7	138.14
1	3	20	0.1380^5	0.0999^5	138.12
2	3	45	0.0999^5	0.1380^5	138.12
1	4	05	0.1380^5	0.0999^3	138.15
2	4	35	0.0999	0.1380^5	138.19
1	5	00	0.1380^5	0.0999	138.19
2	5	35	0.0999	0.1380^5	138.19
1	5	50	0.1380^5	0.0999	138.19
2	6	10	0.0999	0.1380^5	138.19
1	6	30	0.1380^5	0.0999	138.19
2	6	45	0.0999		
				Average	138.17

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.623 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C =138.70 Ω

Table (34)

Date: 1st May, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96480 Pa
Atmospheric pressure at the end of the series: 96487 Pa
Potentiometer was uncalibrated
Thermometer current : 2 mA
Temperature of the standard resistance : 26.0 °C

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t
	min	sec			(Ω)
1	0	07	1.3848^{5}		
2	0	45	1.0019	1.3845^{7}	138.19
1	1	35	1.3842	1.0022^{3}	138.11
2	2	15	1.0025	1.3847^{7}	138.13
1	2	45	1.3852	1.0023^{4}	138.20
2	3	12	1.0022	1.3850^{8}	138.20
1	3	40	1.3849^{5}	1.0021	138.20
2	4	10	1.0020	1.3847^{1}	138.19
1	4	30	1.3845^{5}	1.0019^{1}	138.19
2	4	55	1.0018	1.3844^{1}	138.19
1	5	15	1.3843	1.0017	138.20
2	5	35	1.0016	1.3842	138.20
1	5	55	1.3841	1.0015^{5}	138.20
2	6	15	1.0015	1.3840^{1}	138.20
1	6	40	1.3839	1.0014^{2}	138.19
2	7	00	1.0013^{5}		
				Average	138.19

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.633 °C
Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.72 Ω

Table (35)

Date: 1st May, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96487 Pa
Atmospheric pressure at the end of the series : 96487 Pa
Potentiometer was uncalibrated.
Thermometer current : 1 mA
Temperature of the standard resistance: 26.0 °C

Terminal	Time		Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	0	10	0.6964		
2	0	35	0.5040^5	0.6964^7	138.17
1	1	25	0.6966	0.5040^8	138.19
2	2	00	0.5041	0.6966^3	138.19
1	2	20	0.6966^5	0.5041^4	138.19
2	2	45	0.5042	0.6966^8	138.18
1	3	05	0.6967	0.5042	138.18
2	3	30	0.5042	0.6967	138.18
1	3	48	0.6967	0.5042	138.18
2	4	15	0.5042	0.6967^3	138.19
1	4	40	0.6967^5	0.5042^3	138.18
2	5	00	0.5042^5	0.6967^5	138.18
1	5	20	0.6967^5	0.5042^5	138.18
2	5	40	0.5042^5	0.6967^8	138.18
1	6	00	0.6968	0.5042^5	138.19
2	6	20	0.5042^5		
				Average	138.18

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.633 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.71 Ω

Table (36)

Date : 1st May, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96487 Pa
Atmospheric pressure at the end of the series : 96527 Pa
The potentiometer was calibrated.
Thermometer current : 2 mA
Temperature of the standard resistance : 26.0 °C

Terminal	time		measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t
	min	sec			(Ω)
1	0	15	0.2744		
2	0	45	0.1984^5	0.2743^5	138.25
1	1	15	0.2743	0.1984^5	138.22
2	1	35	0.1984^5	0.2742^8	138.21
1	2	05	0.2742^5	0.1984^2	138.22
2	2	25	0.1984	0.2742^2	138.22
1	2	55	0.2742	0.1984	138.21
2	3	25	0.1984	0.2741^7	138.19
1	3	50	0.2741^5	0.1983^7	138.20
2	4	15	0.1983^5	0.2741^2	138.20
1	4	35	0.2741	0.1983^3	138.20
2	4	55	0.1983	0.2741	138.22
1	5	15	0.2741	0.1983	138.22
2	5	40	0.1983	0.2740^7	138.21
1	6	00	0.2740^5	0.1982^8	138.21
2	6	25	0.1982^5		
				Average	138.21

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.639 °C
Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.74 Ω

Table (37)

Date : 1st May, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96527 Pa
Atmospheric pressure at the end of the series : 96520 Pa
The Potentiometer was calibrated
Thermometer current : 3 mA
Temperature of the standard resistance : 26.0 °C

Terminal	time min	time sec	measured p.d. (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
1	0	12	0.4116		138.23
2	0	40	0.2977^5	0.4115^7	138.24
1	1	05	0.4115^5	0.2977	138.25
2	1	35	0.2976^5	0.4115	138.25
1	2	05	0.4114^5	0.2976^2	138.25
2	2	25	0.2976	0.4114^3	138.25
1	2	50	0.4114	0.2975^7	138.25
2	3	15	0.2975^5	0.4113^7	138.25
1	3	40	0.4113^5	0.2975^3	138.24
2	4	10	0.2975	0.4112^7	138.23
1	4	40	0.4112	0.2974^8	138.22
2	5	15	0.2974^5	0.4111^5	138.22
1	5	45	0.4111	0.2974^2	138.22
2	6	15	0.2974	0.4110^7	138.23
1	6	45	0.4110^5	0.2973^7	
2	7	15	0.2973^5		
				Average	138.24

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.644 °C
Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.77 Ω

Table (38)

Date: 1st May, 1983 Steam point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96520 Pa
Atmospheric pressure at the end of the series : 96553 Pa
Potentiometer was uncalibrated.
Thermometer current : 3 mA
Temperature of the standard resistance : 26.0 °C

Terminal	Time min	Time sec	Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
1	0	07	1.8117^5		
2	0	25	1.3106	1.8116^3	138.23
1	0	45	1.8115	1.3105^5	138.22
2	1	05	1.3105	1.8113^5	138.22
1	1	25	1.8112	1.3103^7	138.22
2	1	50	1.3102	1.8110^3	138.23
1	2	10	1.8109	1.3101^1	138.23
2	2	35	1.3100	1.8107^3	138.22
1	2	55	1.8106	1.3099^2	138.22
2	3	15	1.3098^5	1.8104^6	138.22
1	3	45	1.8102^5	1.3097	138.22
2	4	05	1.3096	1.8101^5	138.22
1	4	25	1.8100^5	1.3095^3	138.22
2	5	00	1.3094	1.8098^3	138.22
1	5	20	1.8097	1.3092^9	138.22
2	5	45	1.3091^5		
				Average	138.22

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.648 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.74 Ω

Table (39)

Dates: 1st May, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96553 Pa

Atmospheric pressure at the end of the series : 96553 Pa

Potentiometer was uncalibrated.

Thermometer current : 1 mA

Temperature of the standard resistance: 26.0 °C

Terminal	Time		Measured p.d. x constant(volts)	Interpolated p.d.(volts)	Thermometer resistance R_t
	min	sec			(Ω)
1	0	08	0.6064^5		
2	0	45	0.4390	0.6065^6	138.17
1	1	30	0.6067	0.4390^6	138.18
2	1	55	0.4391	0.6068	138.19
1	2	20	0.6069	0.4392^1	138.18
2	2	50	0.4393^5	0.6069^8	138.15
1	3	15	0.6070^5	0.4393^5	138.17
2	3	40	0.4393^5	0.6071^2	138.19
1	4	10	0.6072	0.4393^8	138.19
2	4	35	0.4394	0.6072^5	138.20
1	5	05	0.6073	0.4394^3	138.20
2	5	35	0.4394^5	0.6073^5	138.21
1	6	00	0.6074	0.4395^1	138.20
2	6	20	0.4395^5	0.6074^2	138.19
1	6	45	0.6074^5	0.4395^8	138.19
2	7	05	0.4396		
				Average	138.19

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.653 °C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100 °C = 138.71 Ω

Table (40)

Date: 4th May, 1983 Steam-point

Atmospheric pressure at the beginning of the series: 96782 Pa

Atmospheric preesure at the end of the series : 96751 Pa

Potentiometer was uncalibrated

Thermometer current : 2 mA

Temperature of the standard resistance : 26.2 ^{o}C

Terminal	Time (min)	Time (sec)	Measured p.d. x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
1	0	55	1.5576^{5}		
2	1	30	1.1266	1.5573	138.23
1	2	00	1.5570		
The direction of the current was reversed					
2	5	40	1.1320		
1	6	10	1.5646	1.1318^{7}	138.23
2	6	40	1.1317^{5}		
1	8	00	1.5648^{5}		
2	8	25	1.1317	1.5644^{5}	138.24
1	8	50	1.5640^{5}		
2	10	00	1.1319^{5}		
1	11	00	1.5640^{5}	1.1315^{5}	138.22
2	11	30	1.1313^{5}		

Table (41)

Table (41) continued

Terminal	Time		Measured p.d.x constant (volts)	Interpolated p.d. (volts)	Thermometer resistance R_t (Ω)
	min	sec			
1	13	15	1.5649		
2	13	50	1.1318	1.5645^{1}	138.23
1	14	15	1.5642^{5}		
2	16	15	1.1315^{5}		
1	16	40	1.5639	1.1314^{1}	138.23
2	17	10	1.1312^{5}		
1	18	25	1.5626		
2	18	55	1.1302^{5}	1.5623^{5}	138.23
1	19	25	1.5621		
2	20	55	1.1285		
1	21	20	1.5592	1.1283^{9}	138.18
2	22	05	1.1282		
1	23	00	1.5598		
2	23	20	1.1283	1.5596^{9}	138.23
1	25	20	1.5590		
2	26	20	1.1284		
1	26	55	1.5595	1.1281^{8}	138.23
2	27	25	1.1280		
1	28	15	1.5600		
2	28	50	1.1283	1.5596^{5}	138.23
1	29	15	1.5594		
2	30	15	1.1285		
1	31	15	1.5594	1.1292^{9}	138.21
2	32	40	1.1280		
				Average	138.22

Calculated temperature t of the boiling point of water = 98.714 ^{o}C

Calculated resistance R_{100} of the thermometer at 100^{o}C = 138.72 Ω

Summary of results for resistance measurement at the steam point

Date	Table No.	Average resistance R_t at temp. (t) (Ω)	Temp. (t) °C	Average of R_{100} (Ω)
20-4-83	19	138.22	98.750	138.70
	20	138.28	98.756	138.76
	21	138.26	98.765	138.74
	22	138.28	98.764	138.76
	23	138.36	98.775	138.84
	24	138.39	98.777	138.86
	25	138.37	98.773	138.85
	26	138.35	98.773	138.83
21-4-83	27	138.17	98.644	138.69
	28	138.22	98.652	138.74
	29	138.31	98.661	138.83
	30	138.23	98.674	138.74
	31	138.24	98.684	138.75
	32	138.26	98.684	138.77
26-4-83	33	138.26	98.730	138.75
1-5-83	34	138.17	98.623	138.70
	35	138.19	98.633	138.72
	36	138.18	98.633	138.71
	37	138.21	98.639	138.74
	38	138.24	98.644	138.77
	39	138.22	98.648	138.71
	40	138.19	98.653	138.71
4-5-83	41	138.22	98.714	138.72
			Mean value of R_{100}	138.75

$R_{100} = 138.75 \pm 0.05\ \Omega$

Table (42)

٤ــ٣ تحليل النتائج

يتضح من الجداول أن متوسط قيمة المقاومة R_o عند درجة تجمد الجليد هى $R_o = 100.04 \pm 0.10\ \Omega$ متفقة مع القيمة التى حددها المنتج وهى

$$R_o = 100.00 \pm 0.10\ \Omega$$

ومتوسط قيمة المقاومة عند نقطة غليان الماء $R_{100} = 138.75 \pm 0.05\ \Omega$

وهى تقع فى حدود أفضل مما حدده المنتج حيث أن $R_{100} = 138.50 \pm 0.20\ \Omega$ طبقا لما أورده المنتج .

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_o}{100\ R_o} = 0.00387\ {}^oC^{-1}$$

والقيمة التى اعطاها المنتج للمعامل α هى

$$\alpha = 0.00385\ {}^oC^{-1}$$

علما بأن قيمة α بالنسبة للترمومترات المصنوعة من البلاتين النقى والخالية من التوترات هى

$$\alpha \geqslant 0.0039250\ {}^oC^{-1}$$

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_o} = \frac{138.75}{100.04} = 1.387$$

والقيمة التى اعطاها المنتج هى $W_{100} = 1.385$

علما بأن قيمة W_{100} بالنسبة للترمومترات المصنوعة من البلاتين النقى والخالية من التوترات هى

$$W_{100} \geqslant 1.39250$$

يتضح من ذلك أن هذا الترمومتر لايصلح لتحقيق المقياس العملى الدولى بسبب عدم نقاء البلاتين بدرجة كافية ووجود توترات فيه . ولكنه يصلح للاستعمال فى الأغراض الصناعية كالحالات التى لايفى فيها الازدواج الحرارى بالدقة المطلوبة .

٤ـ٤ ملاحظات عامة

(١) يوجد تفاوت كبير فى قيمة المقاومة R_0 عند نقطة تجمد الجليد فى حالة عدم جرش الجليد جيدا أو استخدام الجليد المصنوع من ماء امداد المدينة .

ففى بعض الحالات كانت قيمة R_0 هى $R_0 = 99.30\ \Omega$

وفى الحالات الأخرى بلغت $R_0 = 100.30\ \Omega$ وباستخدام الجليد المجروش جيدا والمصنوع من ماء مقطر تكررت قيمة R_0 بصورة جيدة .

(٢) لايوجد أى تأثير للقوى الدافعة الكهروحرارية على تعيين مقاومة الترمومتر R_{100} عند نقطة غليان الماء حيث أن R_{100} تكررت بصورة جيدة بعكس أو بدون عكس اتجاه التيار ومن باب أولى أن لايكون لها تأثير البتة على R_0 ولكن ربما لايظهر أثر هذه القوى الدافعة الكهروحرارية عند درجات الحرارة فى هذا المدى ولكن لايمكن تجاهلها عند درجات الحرارة المرتفعة .

(٣) حدث ذات مرة شرخ فى جهاز تحقيق نقطة غليان الماء مما أدى الى تسرب الهواء فيه وعندها بدأت تتصاعد قيمة مقاومة الترمومتر تدريجيا حيث بلغت $R_{100} = 143.26\ \Omega$ عند نهاية التجربة . وهذا يوضح أهمية طرد الهواء تماما من جهاز تحقيق نقطة غليان الماء .

(٤) تطابق النتائج لقيمة المقاومة سواء فى حالة نقطة تجمد الجليد أو نقطة غليان الماء على الرغم من استخدام تيارات مختلفة يدل دلالة واضحة على أنه لايوجد أثر لتسخين الترمومتر Joule heating بالتيارات الصغيرة التى استخدمت كما لايوجد أثر لتسخين الترمومتر ذاتيا Self-heating عبر اسلاك التوصيل .

(٥) استخدمت مضخة صغيرة تعمل فى دائرة مغلقة لضخ ماء التبريد فى المكثف بغرض رفع كفاءة المكثف وعدم الاعتماد على امداد الماء للمبنى. فالماء يكون احيانا مقطوعا عن المبنى وأحيانا اخرى تكون درجة حرارته مرتفعة نسبيا مما يؤدى الى تقليل كفاءة المكثف . وكان الجليد يضاف الى الماء فى هذه الدائرة المغلقة كلما دعت الحاجة الى ذلك .

References   المراجع الأجنبية

1) The Measurement of Temperature by J.A. Hall, Chapman and Hall Ltd, 11 New Fetter Lane, London E.C.4, pp 1-21.

2) The word Celsius was adopted by international agreement at the ninth General Conference of Weights and Measures, 1948, and should be used in place of Centigrade.

3) Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry by J.A. Hall, Reinhold, New York 2, 115, (1955).

4) Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry by H.F. Stimson, Reinhold, New York, 3 (Part 1), 59, (1962).

5) The International Practical Scale of Temperature 1948 (1960 revision), H.M. Stationery Office, London.

6) Comité Consultatif de Thermométrie, 7th session, page T 12 (1964).

7) The International Practical Temperature scale of 1968, Metrologia 5, 35 (1969).

8) Low-Temperature Platinum thermometry and Vapour Pressure of Neon and Oxygen, Thesis by J.L. Tiggelman, Leiden (1973) p. 148.

9) Brickwedde, F.G., Van Dijk, H., Durieux, M.,Clement, J.R. and Logan, J.K., J. Res. Nat. Bur. Stds 64A, 1 (1960).

10) Sydoriak, S.G., Roberts, T.R., Sherman, R.H. and Brickwedde, E.F.G., Comité Consulatif de Thermométrie, 6th Session 183 (1962).

11) Cataland, G., Edlow, M. and Plumb, H.H., Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry, 3 (Part 1) 129 (1962).

12) e.g. Kaye and Laby's Physical and Chemical Constants.

13) Barber, C.R., J. Sci. Instr. 27, 47 (1950).

14) Stimson, H.F., Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry, 2, 158 (1955).

15) Barber, C.R. and Blanke, W.W., J. Sci. Instr., 38, 17 (1961).

16) Evans, J.P. and Burns, G.W., Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry, 3(Part 1), 313(1962).

17) Barber, C.R., Progress in Cryogenics (Heywood ,London) 2, 149 (1960).

18) Smith, F.E., Phil Mag., 24, 541 (1912).

19) Its latest form has been described by Evans, J.P., Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry, 3(part 1), 285(1962).

20) Hill, J.J. and Miller, A.P., Proc. Inst. Elect.Engrs., 110,453 (1963).

21) Stimson, H.F., Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry, 2, 141 (1955).

المراجـــع العربيـــة

٢٢) عنوانه : المملكة العربية السعودية — مكة المكرمة — جامعة أم القرى ، كلية العلوم التطبيقية والهندسية — قسم الفيزياء .

٢٣) د . ابراهيم ابراهيم شريف — الحرارة — ط١٠ دار المعارف بمصر ١٩٧٨

٢٤) د . ابراهيم ابراهيم شريف — الديناميكا الحرارية — دار المعارف بمصر ١٩٧٦ .

٢٥) د . رأفت كامل واصف — اساسيات الميكانيكا وخواص المادة والحرارة — ط٤ دار المعارف ١٩٧٧ .

٢٦) عبدالمنعم السيد عشرى وآخرون — الحرارة — مكتبة مصر — د . ت

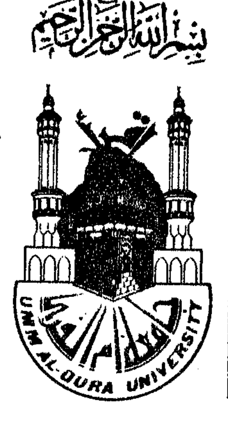
٢٧) د . على عبدالجليل راضى — الحرارة — ط٢ — مكتبة النهضة المصرية ١٩٦٤

٢٨) د . فارس ميناو — د . محمد النادى — الحرارة — ط٤ — دار الكاتب العربى للطباعة والنشر ١٩٦٧ .

٢٩) د . فتحى سلطان — د . نبيل عبدالحميد عيسى — الحرارة وخواص المادة — ط٢ — دار القلم — الكويت ١٩٧٦ .

٣٠) د . محمد محمود عمار — محاضرات فى الفيزياء العامة ١٠١ — جامعة أم القرى .

NGDOM OF SAUDI ARABIA
INISTRY OF HIGHER EDUCATION
AL-QURA UNIVERSITY
MAKKAH ALMUKARRAMAH
FACULTY OF APPLIED
ENCES AND ENGINEERING
Department of Physics



المملكة العربية السعودية
وزارة التعليم العالي
جامعة أم القرى
مكة المكرمة
لية العلوم التطبيقية والهندسيه
قسم الفيزياء

الرقم
التاريخ
الموافق
المشفوعات

تستطيع أن لا تكتب اسمك
أو ما يدل على شخصيتك

تقييم لحلقة البحث

صمم هذا التصميم بغرض التعبير الحر عن شعورك وآرائك بعد أن انهيت حلقة البحث وقد وضع أمام كل استفسار خمس درجات (٢ ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢) وعليك وضع علامة امام احدى هذه الدرجات التى تعتقد انها تعبر عن رأيك . فالدرجات (٢ ، -٢) اذا كنت تتفق تماما مع الرأى المرفق لهاتين الدرجتين . والدرجات (١ ، -١) اذا كنت تتفق معها الى حد ما ، أما الدرجة (٠) فهى اذا كان رأيك بين هذا وذاك . مع رجاء الشعور بالحرية المطلقة لأن هدف التقييم هو للنهوض مستقبلا بموضوع حلقة البحث التى تتفق وميول الدارسين .

١- كيف انفقت اتجاهات حلقة البحث التى اتممتها مع ميولك العلمية ؟

متفقة (٢) ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ غير متفقة

٢- كيف كان شغفك وسولك اثناء العمل التجريبى فى حلقه البحث ؟

كنت شغوفا جدا (٢) ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ لم يكن لدى شغف بالمرة .

٣- كم تعتقد أنك حصلت على معلومات قيمة اضافية من حلقة البحث ؟

كثير جدا (٢) ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ قليل جدا

٤- كم كان اشتراكك فى مجموعة مع زملائك مفيدا لك ؟

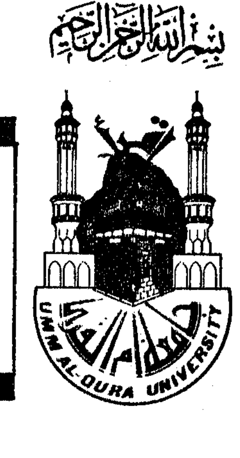
مفيد جدا ٢ ، ١ ، (٠) ، -١ ، -٢ غير مفيد بالمرة

٥- الى أى مدى تعتقد انك تعودت على البحث فى مجال الفيزياء ؟

كبير جدا (٢) ، ١ ، ٠ ، -١ ، -٢ قليل جدا

٦- هل تعتقد أن العمل فى حلقة البحث اسهل أو اصعب من العمل فى التجارب العادية بالمختبرات ؟

اسهل كثيرا ٢ ، ١ ، ٠ ، (-١) ، -٢ اصعب كثيرا



٧- الى أى مدى استفدت من الكتب والمراجع والدوريات ؟

كثير جدا ٢ ، (١) ، ٠ ، -١ ، -٢ قليل جدا

٨- هل ترغب فى الخوض بصورة اعمق فى مشروع حلقة البحث ؟

أرغب (+٢) ، +١ ، صفر ، -١ ، -٢ لا أرغب

٩- هل تعتقد انك تمكنت من تجميع معلومات من المراجع بصورة جيدة ؟

بسهولة +٢ ، (+١) ، صفر ، -١ ، -٢ بصعوبة

١٠- هل تنوى شرح بعض اوجه البحث الى زملائك بالقسم ؟

نعم (+٢) ، +١ ، صفر ، -١ ، -٢ لا

١١- مارأيك فى الاجهزة التى اتيح لك استعمالها بالقسم ؟

جيدة (+٢) ، +١ ، صفر ، -١ ، -٢ رديئة

١٢- هل تعتقد أن مشاريع البحث تحتاج الى خبرات متنوعة المجالات ؟

تحتاج (+٢) ، +١ ، صفر ، -١ ، -٢ لا تحتاج

١٣- ماهو تقييمك لفكرة حلقة البحث من الناحية التعليمية ؟

جيدة (+٢) ، +١ ، صفر ، -١ ، -٢ رديئة

١٤- هل تعتقد أن حلقة البحث غيرت شيئا فى شخصيتك العلمية ؟

نعم (+٢) ، +١ ، صفر ، -١ ، -٢ لا